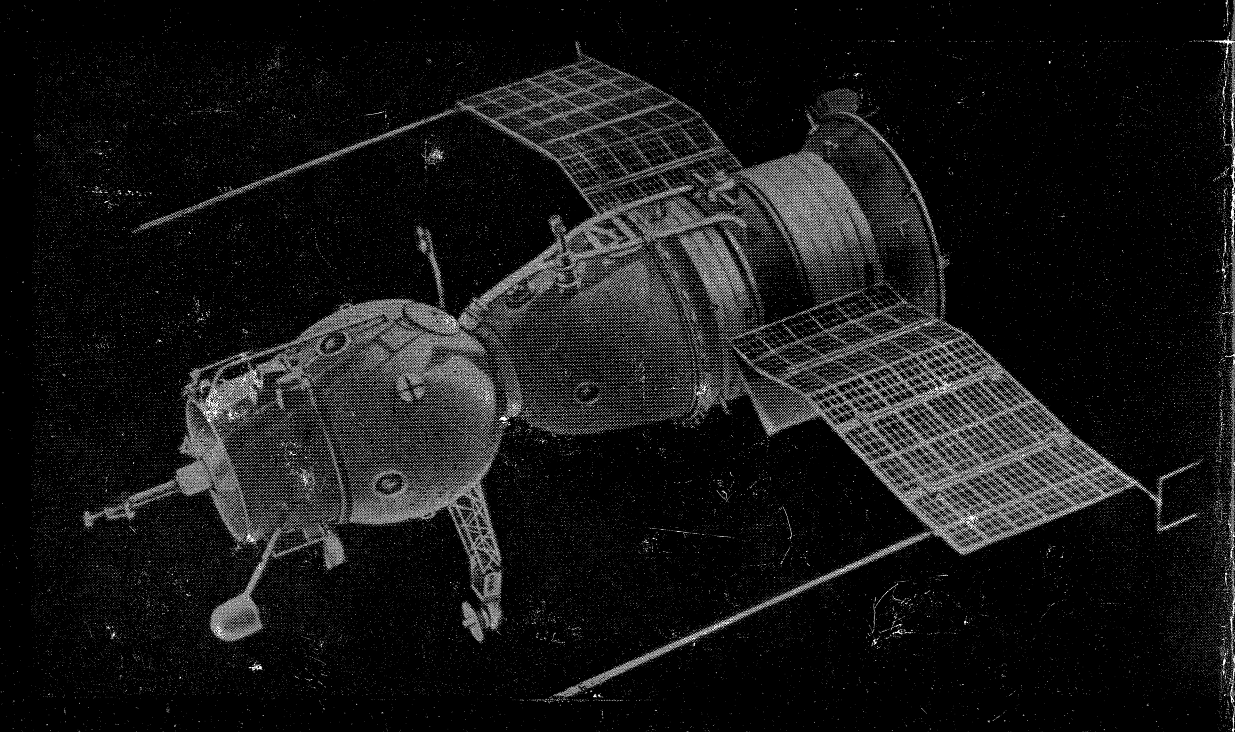
КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ НА КОРАБЛЯХ „СОЮЗ"

# КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ НА КОРАБЛЯХ „СОЮЗ"

## БИОМЕДИЦИНСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА"

Книга «Космические полеты на кораблях «Союз» продолжает серию изданий, посвященных медико-биологическим результатам пилотируемых полетов на космических кораблях «Восток».

Возможности космических кораблей типа «Союз» и большое число полетов позволили исследователям проводить всестороннее изучение деятельности человека в космическом полете.

В книге приведены результаты исследований сердечно-сосудистой, дыхательной пищеварительной и эндокринной систем организма, статокинетического анализатора, а также гематологических исследований и исследований аутомикрофлоры организма космонавтов. Освещены вопросы обоснования систем жизнеобеспечения и обитаемости герметических помещений малого объема, включая режим труда и отдыха космонавтов.

Обобщение полученных результатов и их анализ были использованы для прогнозирования длительных космических полетов и обоснования необходимости использования системы комплекса средств и методов защиты от неблагоприятного действия на организм человека факторов космического полета. Исследованиям на орбитальных станциях и биоспутниках будут посвящены следующие книги по этой тематике.

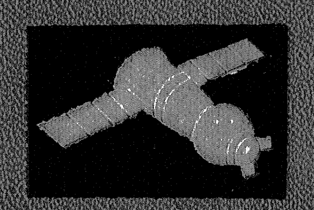
Цена 2 р. 74 к.

2 р. 74 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ НА КОРАБЛЯХ „СОЮЗ"

# КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ НА КОРАБЛЯХ „СОЮЗ"



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИОЛОГИИ

Научные
результаты
исследований
в космических
полетах

# КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ НА КОРАБЛЯХ „СОЮЗ”

## БИОМЕДИЦИНСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Под редакцией
О. Г. ГАЗЕНКО, Л. И. КАКУРИНА
и А. Г. КУЗНЕЦОВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1976

УДК 613.693+629.7.048

**Космические полеты на кораблях «Союз».** М., «Наука», 1976 г., стр. 1—416.

Книга посвящена результатам многосторонних исследований, проведенных по программам полетов космических кораблей «Союз». Основное внимание уделено теоретическим и практическим вопросам жизнеобеспечения человека в космических полетах и анализу физиологических реакций, вызванных невесомостью и другими факторами космического полета. Рассмотрены особенности функционирования многих физиологических систем организма человека в период реадаптации. В отдельной главе представлены биомедицинские исследования, выполненные по программе полета «Союз — Аполлон».

Книга рассчитана на широкий круг биологов и врачей, работающих в области космической биологии и медицины.

Илл. 92. Табл. 73. Библ. на 15 стр.



К $\frac{52300-363}{055(02)-76}$ 436—76



# ПРЕДИСЛОВИЕ

В книге обобщаются результаты биомедицинских исследований, выполненных в нашей стране за последние 10 лет, и подводится итог важного этапа освоения космического пространства с помощью пилотируемых кораблей-спутников «Союз».

Как известно, предыдущая книга, в которой объединены результаты медико-биологических исследований, проводившихся на космических кораблях второго группового космического полета (космонавты В. Ф. Быковский и В. В. Терешкова), вышла в свет в 1965 г. За истекшее время космическая биология и медицина достигли новых серьезных успехов.

В период, предшествующий запуску кораблей «Союз», о жизнедеятельности человека в космическом пространстве высказывалось много различных суждений, которые базировались преимущественно на общих теоретических представлениях, не подкрепленных достаточным опытом.

Главным итогом проведенных исследований, выполненных в период подготовки к пилотируемым полетам на кораблях «Союз», а затем и во время полетов, явилось надежное доказательство возможности длительного (до одного месяца) пребывания человека в условиях невесомости при сохранении высокого уровня умственной и физической работоспособности. Эти результаты дали основание рассматривать космическое пространство как среду будущего обитания человека.

В книге приведены основные итоги биомедицинских исследований, выполненных по программе полетов космических кораблей «Восток» и «Восход». Тем самым сохраняются необходимые преемственность и последовательность в ходе изложения материалов исследований и создаются предпосылки для обоснования новых задач, путей их решения в целях развития теории космической биологии и медицины и стратегии медицинского обеспечения космических полетов.

В период подготовки и осуществления пилотируемых полетов на кораблях «Союз» были проведены экспериментальные исследования, опытно-конструкторские работы и многопрофильные врачебные наблюдения. Результаты этих исследований несомненно представляют теоретический интерес и имеют важное практическое значение.

Книга содержит две части. В первой части излагаются результаты исследований, выполненных главным образом в период подготовки полетов. В них отражены принципы отбора и подготовки космонавтов, физиолого-гигиеническая характеристика систем жизнеобеспечения (СЖО), обоснование рациона питания и водообеспечения, построение системы радиационной безопасности экипажей, вопросы труда и отдыха космонавтов.

Материалы второй части посвящены анализу физиологических реакций, обусловленных факторами космического полета. Читатель здесь най-

дет также подробное описание первичных реакций, характерных для начального периода реадаптации организма человека к земным условиям.

В книге наряду с анализом данных, полученных в полете, уделено достаточно большое внимание анализу экспериментальных данных, полученных в наземных исследованиях с моделированием отдельных физиологических реакций, состояний и синдромокомплексов, подобных тем, которые развиваются у человека в невесомости или могут возникнуть в длительном космическом полете. Экспериментальное направление исследований получило широкое развитие и оказалось плодотворным для решения многих практических задач космической медицины.

Последняя глава второй части книги посвящена биомедицинским аспектам полета А. А. Леонова и В. Н. Кубасова на космическом корабле «Союз-19», положившего начало первому в истории космонавтики крупному совместному эксперименту по программе «Союз — Аполлон», осуществленному СССР и США.

Большое внимание в книге уделено биологическим экспериментам, задача которых состояла в изучении изменений в структурах и функциях различных биологических объектов под влиянием невесомости и других факторов космического полета в их совокупности.

Книга представляет интерес для широкого круга биологов и врачей, работающих в области космической биологии и медицины.

Член-корреспондент АН СССР
О. Г. ГАЗЕНКО

Доктор медицинских наук, профессор
Л. И. КАКУРИН

# Часть I. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ

## Глава 1. НАЗНАЧЕНИЕ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ «СОЮЗ» И ЗАДАЧИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛЕТАХ КОРАБЛЕЙ «СОЮЗ»

Космический корабль «Союз» предназначен для решения широкого круга задач в околоземном космическом пространстве, главными из которых являются:

Отработка процессов автономной навигации, управления, маневрирования, сближения, стыковки и проверки принципов создания и обслуживания советских околоземных орбитальных станций.

Изучение воздействия условий космического полета на организм человека.

Проверка принципов использования пилотируемых космических кораблей для исследований Земли в интересах народного хозяйства СССР.

Проведение научно-технических и научных экспериментов в космическом пространстве.

Отработка, испытание совместных средств сближения и стыковки для осуществления совместных полетов корабля «Союз» с советскими и американскими кораблями и станциями.

За период с 1967 по 1975 г. в СССР были выведены на орбиту искусственного спутника Земли (ИСЗ) следующие пилотируемые корабли «Союз»:

| Корабль | Дата полета | Космонавт |
|---|---|---|
| «Союз-1» | 23—24.IV 1967 г. | **В. М. Комаров** |
| «Союз-3» | 26—30.X 1967 г. | **Г. Т. Береговой** |
| «Союз-4» | 14—17.I 1969 г. | **В. А. Шаталов** |
| «Союз-5» | 15—18.I 1969 г. | **Б. В. Волынов, А. С. Елисеев, Е. В. Хрунов** |
| «Союз-6» | 11—16.X 1969 г. | **Г. С. Шонин, В. Н. Кубасов** |
| «Союз-7» | 12—17.X 1969 г. | **А. В. Филипченко, В. Н. Волков, В. В. Горбатко** |
| «Союз-8» | 13—18.X 1969 г. | **В. А. Шаталов, А. С. Елисеев** |
| «Союз-9» | 1—19.VI 1970 г. | **А. Г. Николаев, В. И. Севастьянов** |
| «Союз-10» | 23—25.IV 1971 г. | **В. А. Шаталов, А. С. Елисеев, Н. Н. Рукавишников** |
| «Союз-11» | 6—30.VI 1971 г. | **Г. Т. Добровольский, В. Н. Волков, В. И. Пацаев** |

| Корабль | Дата полета | Космонавт |
|---|---|---|
| «Союз-12» | 27—29.IX 1973 г. | В. Г. Лазарев, О. Г. Макаров |
| «Союз-13» | 18—26.XII 1973 г. | П. И. Климук, В. В. Лебедев |
| «Союз-14» | 3—19.VII 1974 г. | П. Р. Попович, Ю. П. Артюхин |
| «Союз-15» | 26—28.VIII 1974 г. | Г. Ф. Сарафанов, Л. С. Демин |
| «Союз-16» | 2—8.XII 1974 г. | А. В. Филипченко, Н. Н. Рукавишников |
| «Союз-17» | 11.I—9.II 1975 г. | А. А. Губарев, Г. М. Гречко |
| «Союз-18» | 24.V—26.VII 1975 | П. И. Климук, В. И. Севастьянов |
| «Союз-19» | 15—21.VII 1975 г. | А. А. Леонов, В. Н. Кубасов |

На кораблях «Союз-4» и «Союз-5» было выполнено автоматическое сближение, ручное причаливание и стыковка двух пилотируемых космических кораблей с образованием на орбите ИСЗ первой экспериментальной космической станции.

Во время полета в состыкованном состоянии два космонавта в скафандрах с автономными системами жизнеобеспечения вышли в космическое пространство и осуществили переход из корабля в корабль.

На кораблях «Союз-6», «Союз-7», «Союз-8» был проведен групповой полет и выполнена программа научно-технических экспериментов, включая испытания различных способов сварки металлов в условиях глубокого вакуума и невесомости, навигационные наблюдения, взаимное маневрирование, взаимодействие кораблей между собой и с наземными командно-измерительными пунктами, одновременное управление полетом трех кораблей.

На корабле «Союз-9» был совершен длительный полет продолжительностью 18 суток и выполнена обширная программа медико-биологических исследований и научно-технических экспериментов.

На корабле «Союз-13» при помощи установленной на борту системы телескопов «Орион-2» были проведены астрофизические наблюдения и спектрографирование в ультрафиолетовом диапазоне участков звездного неба.

На кораблях «Союз-1», «Союз-3», «Союз-10», «Союз-11», «Союз-12», «Союз-14», «Союз-15» отрабатывались режимы работы бортовой аппаратуры и проводились испытания новых и усовершенствованных бортовых систем как в одиночных полетах, так и совместно со станциями серии «Салют».

Кроме того, для отработки конструкции бортовых систем и их режимов работы было запущено несколько беспилотных кораблей «Союз».

В соответствии с советскими программами подготовки к совместному полету «Союз — Аполлон» были успешно проведены два полета беспилотных кораблей типа «Союз» («Космос-638» 2 апреля 1974 г., «Космос-672» 12 августа 1974 г.).

В ходе шестисуточного полета на корабле «Союз-16» успешно завершились испытания бортовых систем, модернизированных в соответствии с требованиями совместного полета, а именно: нового стыковочного агрегата и его автоматики, системы ориентации и управления движением, комплекса систем жизнеобеспечения.

На корабле «Союз-17» стартовал экипаж в составе командира корабля А. А. Губарева и бортинженера Г. М. Гречко для стыковки с орбитальной станцией «Салют-4». В течение 30-суточного полета на орбитальной станции первая экспедиция успешно выполнила программу научных, технических исследований и экспериментов. Были проведены комплексные исследования реакций организма человека на действия факторов космического полета, испытаны различные средства профилактики неблагоприятного влияния невесомости.



На корабле «Союз-18» была выведена на околоземную орбиту вторая экспедиция в составе командира корабля П. И. Климука и бортинженера В. И. Севастьянова для продолжения исследований на орбитальной станции «Салют-4». Осуществлен самый длительный в истории отечественной космонавтики пилотируемый полет комплекса «Салют — Союз», продолжавшийся 63 суток. Проведены подробные исследования земной поверхности территории Советского Союза в средних и южных широтах. Успешно проведены технические эксперименты по отработке новых систем и приборов перспективных космических кораблей и долговременных орбитальных станций. Получена научная информация о физических процессах, протекающих в активных областях Солнца, земной атмосфере и космическом пространстве. Продолжены подробные исследования реакций организма человека на действия факторов длительного космического полета, успешно апробирован и использован комплекс средств профилактики неблагоприятного действия невесомости.

На космическом корабле «Союз-19» командир корабля А. А. Леонов и бортинженер В. Н. Кубасов осуществили первый в истории космонавтики крупный совместный эксперимент СССР и США по программе «Союз — Аполлон». Космонавты произвели стыковку с кораблем «Аполлон», совершили с ним совместный двухсуточный полет, участвовали во взаимных переходах из корабля в корабль и провели астрофизические, медико-биологические, технологические и геофизические эксперименты.

Таким образом, впервые в истории была создана и успешно функционировала международная космическая станция.

## ОСНОВНЫЕ ИТОГИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОГРАММЕ ПОЛЕТОВ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ «ВОСТОК» — «ВОСХОД»

В настоящее время известна вся сложность медицинского контроля среды и состояния экипажа в прежних космических полетах, обусловившая формирование научной программы, выбор методов, всю тактику проведения подобных экспериментов.

Перед полетом Ю. А. Гагарина физиологи располагали весьма ограниченными сведениями о влиянии невесомости и других неблагоприятных факторов космического полета на организм человека. Естественно, возникали опасения, касающиеся возможного нарушения психофизиологического состояния космонавта и его работоспособности. Они нашли отражение в конструировании космического корабля. Чтобы обеспечить максимум надежности и безопасности выполнения программы полета, в основу конструирования космического корабля был заложен принцип использования как полностью автоматического управления кораблем, обеспечивающего выполнение всей программы полета от старта и до его посадки, так и ручного управления почти всеми системами корабля.

Большинство наиболее важных систем были многократно дублированы. Принималась во внимание простота эксплоатации корабля.

В результате анализа физиологической информации, полученной в ходе полетов и при клинико-физиологическом обследовании экипажей, были устранены многие опасения, касающиеся возникновения в невесомости субпатологических или патологических нарушений со стороны анализаторов, аппарата кровообращения, нервно-мышечной системы, метаболизма.

Главный итог полетов по программе «Восток» и «Восход» состоял в том, что на всех этапах полета, в том числе во время выхода человека в открытый космос, человек оказался способным активно действовать, выполнять различные виды работ, в том числе и те из них, которые требуют тонкой координации (Парин и др., 1962; Яздовский и др., 1963; Первый групповой космический полет, 1964).

В прогностическом отношении результаты этих наблюдений и исследований были благоприятными, поскольку показали, что относительно высокий уровень функционирования физиологических систем организма космонавтов сохранился даже в наиболее трудных условиях полета — в период остро протекающих процессов приспособления к невесомости, на фоне критического воздействия эмоционального стресса, особенно на завершающей стадии полета (катапультирование, отстрел космонавта от кресла, парашютирование в скафандре).

Однако углубленные физиологические исследования, особенно в тех случаях, когда использовались функциональные нагрузки, позволили выявить несколько настораживающие изменения со стороны сердечно-сосудистой системы (Газенко, 1962; Волынкин и др., 1962; Парин и др., 1965; Буянов и др., 1966). Во время пребывания в невесомости наблюдалась неустойчивость сердечного ритма, напряженность, которая у отдельных космонавтов сопровождалась изменением предсердно-желудочковой проводимости, синусовой аритмией, единичными экстрасистолами. На электрокардиограмме космонавтов (А. Г. Николаев, П. Р. Попович, В. В. Терешкова, В. Ф. Быковский) наблюдалось уплощение или значительное уменьшение амплитуды зубца Т, некоторое снижение зубцов Р и R, снижение систолического показателя. Кроме того, в период реадаптации к земным условиям у некоторых космонавтов (В. Ф. Быковский, В. В. Терешкова) отмечалось снижение жизненной емкости легких.

Несмотря на сравнительно малую продолжительность полетов, в послеполетном периоде были выявлены отчетливые признаки снижения устойчивости к физической нагрузке. Они проявлялись значительно большими, чем в обычных условиях, учащением пульса, повышением артериального давления в ответ на стандартную нагрузку, а также снижением ударного объема крови после прекращения работы (А. Г. Николаев, В. Ф. Быковский, В. В. Терешкова). Важно заметить, что некоторые из указанных изменений сохранились на протяжении 12—15 суток после завершения полетов.

Умеренное снижение физической работоспособности наблюдалось также и у астронавтов, участвовавших в реализации программ «Меркурий» и «Джемини» (Dietlein, 1964, 1974). «Каталог» нарушений аппарата кровообращения, вызванных космическими полетами, был существенно пополнен, когда в качестве функциональных тестов стали использоваться различные постуральные воздействия: активная и пассивная ортостатические пробы (Vinograd, 1964; Berry, 1966; Johnson, 1971). Наши исследования, даже в тех случаях, когда применялась ортостатическая нагрузка, не указывали на существенное снижение ортостатической устойчивости пилотов кораблей «Восток».



Наиболее выраженные признаки ортостатической неустойчивости впервые были выявлены у астронавтов Ширры и Купера, совершивших на кораблях «Меркурий» и «Меркурий-9» полеты продолжительностью соответственно 9 час. и 34 часа. Эти признаки сохранились у них в течение 7 и 19 час. после полетов (Link, 1965). На ЭКГ были зарегистрированы электросистолия предсердий и желудочков, синусовая брадикардия. Симптомы обморочного состояния, появившиеся после выхода из космического корабля, а также изменения кровяного давления и частоты пульса, сохранившиеся на протяжении длительного времени после полета, свидетельствовали о нарушении регуляции кровообращения, обусловленной непродолжительным пребыванием в невесомости.

Нарушение регуляции кровообращения при ортостатических воздействиях и крайнее ее проявление с развитием предобморочного состояния было отчетливо продемонстрировано данными американских исследователей на примерах обследования астронавтов кораблей «Джемини-4», «Джемини-5» и «Джемини-7» (соответственно 4-, 8- и 14-суточные полеты). Кроме того, у отдельных космонавтов были обнаружены отчетливые признаки относительной гипогидратации тканей, так же как и снижение объема плазмы, массы циркулирующей крови, эритроцитарной массы (Berry, Catterson, 1967; Leach, 1973; Dietlein, 1974).

При анализе этих данных было обращено внимание на следующие два обстоятельства: во-первых, указанные функциональные расстройства наблюдались лишь у отдельных космонавтов и, во-вторых, выраженность изменений, особенно со стороны сердечно-сосудистой системы, была, как правило, умеренной. Изменения гемодинамики и отдельные реакции, которые можно было отнести к функции миокарда (уменьшение амплитуды зубца Т на ЭКГ, изменение предсердно-желудочковой проводимости и др.) проявлялись главным образом при функциональных нагрузках в течение непродолжительного восстановительного периода и не рассматривались как факторы, способные лимитировать деятельность человека в кратковременном космическом полете (Парин, 1963; Газенко и др., 1965; Акуличев и др., 1966; Какурин, Катковский, 1966; White, 1971).

В ходе реализации программы «Восток» и «Восход» физиологи проводили плодотворные изыскания, целью которых явилось выяснение особенностей в феноменологии вестибуло-вегетативных нарушений, возникающих в невесомости, и установление патофизиологических механизмов, лежащих в основе вегетативных расстройств и иллюзий пространственного положения (Емельянов, Кузнецов, 1962; Юганов, Брянов, 1963; Юганов, 1963; Барнацкий, Кузнецов, 1966; Емельянов, 1966).

В отечественной космической медицине уже после завершения полетов человека на первых кораблях «Восток» была сформулирована концепция о природе вестибуло-вегетативных нарушений, выдвинувшая вестибулярную проблему в ряд основных проблем, требующих безотлагательного решения.

Важно заметить, что в период завершения подготовительных исследований и практических работ по медицинскому обеспечению полетов по программе «Союз» американские специалисты не считали вестибулярную проблему актуальной для космоплавания. Такая точка зрения объяснялась тем, что у американских астронавтов симптомы вестибулярных нарушений появлялись лишь в полетах космических кораблей «Аполлон». Именно эти полеты добавили к их списку физиологических изменений, возникающих в результате космического полета, вестибулярные расстройства (Berry, 1970; Dietlein, 1974). Правда, ретроспективно можно считать, что анорексия и пониженное потребление пищи у некоторых космонавтов космических кораблей «Джемини» могли быть ранними симптомами болезни движения.

Медицинский контроль за космонавтами во время полетов космических летательных аппаратов («Восток» и «Восход») — предшественников корабля Союз», а также клинико-физиологическое обследование экипажей в различные сроки после их приземления выявили следующие функциональные расстройства со стороны ряда физиологических систем.

Вестибуло-вегетативные реакции: иллюзии пространственного положения, неприятные ощущения тяжести в животе, тошнота, снижение аппетита.

Кардио-респираторные реакции: снижение ударного объема крови после выполнения физической нагрузки средней интенсивности, снижение жизненной емкости легких, уменьшение амплитуды зубца T или его уплощение на электрокардиограмме после физической нагрузки, синусовая аритмия, изменения предсердно-желудочковой проводимости, изменение регуляции кровообращения при ортостатических воздействиях.

Метаболические реакции: повышенное выведение после полета креатина и креатинина, увеличение общего азота, уменьшение выведения хлоридов, умеренная гипогидратация организма, снижение веса тела.

Таким образом, было установлено, что наиболее реактивными физиологическими системами являются вестибулярный аппарат и система кровообращения и соответственно этому возникают два состояния, которые можно ожидать у человека в невесомости: «космическое укачивание» и детренированность сердечно-сосудистой системы. Кроме того, внимание исследователей было привлечено к особенностям протекания метаболических процессов, в частности к гипогидратации, и к возможным сопутствующим гормональным сдвигам, которые могли повлечь за собой нарушения водно-солевого обмена (Наточин и др., 1965; Berry, 1966; Козыревская, 1967; Бирюков и др., 1967; Балаховский, Наточин, 1973; Leach, 1973).

Найденные изменения азотистого обмена у космонавтов кораблей «Восток» могли свидетельствовать о тенденции к повышенному распаду мышечных белков и о возможном развитии атрофических процессов скелетных мышц в полетах большей продолжительности. Эти вопросы оказались в центре внимания и явились предметом специальных исследований в наземных экспериментах с воспроизведением физиологических реакций и состояний, подобных тем, которые развиваются у человека в космическом полете.



## ЗАДАЧИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В период создания корабля «Союз» и подготовки пилотируемых полетов перед специалистами космической медицины были поставлены две главные задачи. Первая из них — выяснение возможности пребывания человека в невесомости продолжительностью в пределах одного месяца с определением конкретных условий, которые позволят поддержать относительно высокую работоспособность экипажа в космическом полете; вторая задача состояла в выдаче рекомендаций по совершенствованию систем жизнеобеспечения и медицинского контроля.

Научное обоснование допустимой продолжительности пребывания человека в невесомости не могло базироваться на информации, полученной исключительно в космических полетах. Накопленные данные давали лишь общее представление об изменениях в функциональном статусе основных систем организма, происходящих по мере постепенного увеличения продолжительности полета. Результаты физиологических исследований, полученных во время полета и в периоде реадаптации космонавтов, расценивались, естественно, как наиболее важные опорные сведения, но их было недостаточно для экстраполяции на полет длительностью в пределах одного месяца.

Большое значение поэтому придавалось результатам наземных лабораторных исследований с воспроизведением физиологических реакций, состояний, синдромокомплексов, подобных тем, которые могут возникнуть в космическом полете.

Была представлена широкая возможность для проведения исследований в модельных экспериментах. Основой для развития этого важного направления научно-исследовательских работ явилось единство взглядов отечественных и зарубежных специалистов на роль основных стресс-факторов, способных существенно изменить функциональное состояние человека. К таким факторам относятся: невесомость, ограничение мышечной деятельности, ускорения, эмоциональная напряженность, шумы и вибрации, нарушение циркадианных ритмов, ионизирующая радиация.

Сумма этих факторов, действующих на организм человека последовательно или одновременно в различных сочетаниях, создает сложные условия для изучения физиологических реакций. При этом всегда учитывалось возможное влияние таких факторов среды обитания и условий жизнедеятельности, как необычное питание, большой объем работ с решением многопрофильных задач, ограниченные возможности личной гигиены, удаления отходов жизнедеятельности и тесно связанная с этим опасность бактериальной загрязненности. Последние факторы негативны в эстетическом отношении и, кроме того, могут играть большую роль в развитии физиологических адаптивных изменений и в создании острых стрессовых воздействий.

Перечень основных задач медико-биологических исследований по программе «Союз», а тем более их обоснование и классификацию, представить в кратком изложении сложно из-за обширного объема экспериментальных исследований, опытно-конструкторских работ и многопрофильной практической врачебной деятельности.

Задачи исследований целесообразно представить по отдельным проблемам медицинского обеспечения полетов.

### Отбор и подготовка космонавтов

При разработке проблемы учитывалась установившаяся в космонавтике концепция о возможности значительного расширения функций членов экипажей и активной их деятельности в полете, возложения на пилотов решения ответственных задач по пилотированию корабля, контролю за системами жизнеобеспечения, исследований и наблюдений, в том числе во время выхода в открытый космос космонавтов и переходом их из одного корабля в другой. Эта концепция основана на специальных исследованиях по оценке эффективности систем управления, которые позволили прийти к заключению о том, что роль человека в полете связана с техническим обслуживанием многочисленных систем корабля и что такая роль оправдывает экономически его участие в длительных космических полетах.

Одним из наиболее весомых аргументов в пользу включения человека в системы управления является его способность мыслить, т. е. его возможность, оценивая непредвиденные обстоятельства, быстро принимать правильные решения (Беляев и др., 1966; Лофтус, Боунд, Паттон, 1975).

Предшествующие космические полеты подтвердили правильность основных направлений и методов отбора и подготовки космонавтов (Гуровский, 1966; Крупина и др., 1969). Однако с каждым новым полетом эти методы уточнялись, изменялись и индивидуализировались. От некоторых приходилось отказываться и вводить новые, более прогностические и эффективные.

Основные задачи в отборе и подготовке космонавтов сводятся к следующему.

1. Обоснование оптимальных профессионально-психологических требований, предъявляемых к кандидату в полет, и принципов психофизиологической экспертизы.
2. Определение основных видов подготовки космонавтов и оценка их роли, значения и эффективности.
3. Разработка специфических и неспецифических методов медико-биологической подготовки.
4. Усовершенствование системы контроля за состоянием здоровья космонавтов для обеспечения сохранности здоровья и высокой профессиональной работоспособности космонавтов на всех этапах подготовки, выполнения космического полета и в период реадаптации.
5. Обоснование особенностей отбора, изыскание методов повышения устойчивости к факторам полета и подготовки космонавтов-исследователей.

### Адаптация к невесомости

Суборбитальные и орбитальные миссии человека в космическое пространство позволили установить истинные возможности человека в невесомости и наблюдать по ряду признаков существенное изменение его реактивности. Следует признать, что первостепенный интерес представляло изучение интегральных показателей, характеризующих здоровье и работоспособность космонавтов на фоне пролонгирования полета от десятков минут до нескольких недель. Акцент был сделан на оценку функциональных возможностей организма, состояние жизненно важных функций, заболеваемость, устойчивость к нагрузочным воздействиям во время полета и после его завершения (Котовская, Юганов, 1962; Котовская и др., 1964; Васильев и др., 1965; и др.). Исследовались простые и сложные двигательные реакции, координация движений, возможности выполнения рабочих операций, в том числе в критических ситуациях, способность проводить научные наблюдения и оценивать их результаты в полете; приспособленность космических кораблей для работы и отдыха космонавтов в состоянии невесомости. Сведения, полученные в ходе этих исследований, использовались для совершенствования отбора, подготовки космонавтов, улучшения конструкции космических летательных аппаратов, а также для разработки методов и средств профилактики неблагоприятного влияния невесомости (Парин, 1965; Гуровский, 1966; Какурин, 1968; Генин, Пестов, 1974).



Проблема адаптации организма человека к невесомости — главная проблема космической медицины не нашла и до сих пор окончательного решения. Без преувеличения можно считать, что прогресс в дальнейшем освоении космического пространства во многом определяется решением именно этой проблемы.

Необходимо понимание особенностей функционирования всех звеньев физиологической иерархии: клетки — ткани — органы — системы органов организма при воздействии спектра гравитационных воздействий. В недалеком будущем в полете человека к планетам солнечной системы без использования искусственной силы тяжести следует ожидать каскад последовательных адаптационных и реадаптационных проявлений: адаптации к невесомости, реадаптации к планетной гравитации (например, Марса), вновь адаптации к невесомости, реадаптации к земным условиям.

В настоящее время не только определена система взглядов на разработку проблемы адаптации к невесомости, но и накоплены знания, позволившие понять генез основных функциональных расстройств и, более того, обосновать принципы для активного вмешательства и, в какой-то мере, управления процессами адаптации.

В этой связи представляет интерес ретроспективное рассмотрение ряда основных задач физиологических исследований, проведенных при реализации программы «Союз».

Большое внимание исследователей было привлечено к изучению особенностей вестибулярных реакций. В обычных земных условиях сила гравитации является только частью биологически эффективных сил, воздействующих на человека. Следовательно, представляется важным различие между невесомостью в чистом виде и деятельностью человека, находящегося в космическом корабле в условиях невесомости. Принято считать, что эта разница может быть очень большой; она будет определяться главным образом значением тех механических сил, которые воздействуют в состоянии нулевой гравитации. Уже в первых полетах советскими исследователями было установлено, что при переходе в состояние невесомости движения космонавта головой (вращения) вызывают обычное раздражение полукружных каналов угловым ускорением. Однако космонавт, чувствительный к болезни движения, может воспринимать этот раздражитель как сильное стрессовое воздействие из-за того, что результирующая сенсорная информация сталкивается с необычным типом вестибулярного

центрального возбуждения, обусловленного отсутствием постоянного раздражения силой тяжести (Разумеев, Шипов, 1969; Грейбил, 1975).

Становилось ясным, что разработка эффективных мер предупреждения, а возможно, и лечения вестибулярных нарушений могла быть успешно решена при знании физиологических механизмов, лежащих в основе развития неблагоприятных вестибуло-вегетативных реакций. В этой связи программу исследований определили следующие основные задачи:

1) изучение роли физиологических механизмов в генезе вегетативных расстройств и иллюзорных ощущений пространственного положения, возникающих в невесомости;

2) дальнейшее накопление данных с целью изучения особенностей вестибулярной устойчивости в космическом полете для прогнозирования вестибулярных расстройств.

С увеличением продолжительности космических полетов можно было ожидать возникновения у космонавтов во время полета и после его завершения признаков детренированности кровообращения. На это указывали данные, полученные в предшествующих космических полетах, и широкие исследования в лабораторных экспериментах.

Общей задачей подобных исследований являлось изучение функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы человека при гипокинезии и снижении гидростатического давления крови, а также раскрытие природы циркуляторных расстройств. Предполагалось, что в результате должны быть сформулированы принципы разработки средств, препятствующих детренированности сердечно-сосудистой системы в невесомости. Было установлено, что при ограничении мышечной деятельности функциональные расстройства выходят далеко за пределы нейромышечного аппарата. Они распространяются на органы кровообращения и дыхания, нейроэндокринную и нейрогуморальную системы, ряд метаболических процессов, приобретают качественно другой характер. Данные, полученные нами и другими исследователями, позволяют объединить комплекс полиморфных расстройств, вызванных дефицитом мышечной активности, в синдром гипокинезии.

По тому же пути шли американские исследователи. Достаточно указать на то, что все девять физиологических экспериментов, проведенных по программе «Джемини» (Winograd, 1964), явились воспроизведением в невесомости тех опытов с гипокинезией человека, которые ранее проводились в наземных условиях.

При этом за основу бралось известное положение, что понять физиологические эффекты, вызванные невесомостью, можно лишь тогда, когда будут дифференцированно изучены реакции организма на ограничение мышечной деятельности: гипокинезию и гиподинамию, с которыми встречается человек во время полета на космическом корабле «Союз».

Таким образом, в период предшествующий реализации программы «Союз», в космической медицине определялось новое направление исследований с моделированием физиологических эффектов, подобных тем, которые вызывают невесомость.

Основываясь на результатах модельных экспериментов и располагая данными кратковременных полетов, специалисты космической медицины смогли дать научное обоснование возможности пребывания человека в невесомости в пределах одного месяца. При этом были прогнозированы основные изменения физиологических функций, соответствующие синдромокомплексу общей астенизации организма с такими основными его проявлениями, как детренированность аппарата кровообращения, гипогидратация организма и нарушение баланса электролитов, относительная декальцинация за счет повышенной мобилизации кальция из скелета и его повышенного выведения, уменьшение мышечной массы и снижение тонуса мышц, статокинетические расстройства.



Программа медицинских обследований экипажа уже предусматривала методы исследования и способы функционального тестирования для выявления признаков детренированности и определения степени их выраженности.

Более того, была уверенность в том, что период восстановления функций после завершения полета будет сопряжен с известными трудностями и потребует определенного напряжения физиологических систем, по-видимому, большего, чем в период адаптации организма к условиям невесомости.

Некоторой иллюстрацией к сказанному могут служить результаты полета А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова на корабле «Союз-9». Космонавты оценивали свое самочувствие как отличное и хорошее, это подтверждалось их высокой работоспособностью и объективными данными, поступающими по телеметрическим каналам во время проведения сеансов медицинского контроля. Поэтому было неудивительным, что оба космонавта готовы были продолжать полет сверх 18 суток, тем более что бортовые системы их жизнеобеспечения имели более чем достаточные ресурсы. Тем не менее по истечении 18 суток полет был прекращен, единственная причина такого решения состояла в том, что послеполетный период с приспособлением организма к условиям Земли повлечет выраженные функциональные нарушения.

Основные исследования функции кровообращения у членов экипажей космических кораблей «Союз» проводились в различные сроки послеполетного периода. Во время полетов, начиная с периода выведения корабля на орбиту, на Землю поступала телеметрическая информация, в течение 50 мин. через каждые 1,5 часа полета, кроме тех периодов, когда корабль находился вне зоны радиовидимости. Бортовая аппаратура медицинского контроля обеспечивала съем и передачу на наземные измерительные пункты электрокардиограммы, сейсмокардиограммы, пневмограммы и частоты сердечных сокращений каждого космонавта. Эти показатели функционирования сердечно-сосудистой системы могли дать лишь ориентировочное представление о течении приспособительных процессов в невесомости и служили преимущественно целям оперативного медицинского контроля. На кораблях «Союз» не было приборов и устройств, которые могли бы в невесомости воспроизвести физиологические эффекты, аналогичные ортостатическим реакциям. Единственным нагрузочным тестом на кораблях «Союз» была проба с физической нагрузкой умеренной интенсивности, которая создавалась растяжением резинового эспандера. Эта проба состояла из трех серий растяжений эспандера, находящегося у космонавта за спиной. В каждой серии производилось 10 растяжений в ритме примерно один раз в секунду. Между сериями предусматривались интервалы по 5 сек.

При исследовании кровообращения было необходимо:

1) установить, будут ли прогрессировать нарушения функции кровообращения при увеличении продолжительности полета; 2) оценить резервные возможности сердечно-сосудистой системы при гравитационных воздействиях и физических нагрузках после космических полетов различной продолжительности; 3) выяснить роль отдельных физиологических механизмов, включающихся в процесс адаптации аппарата кровообращения после полета; 4) изучить взаимозависимость между циркуляторными расстройствами (снижение ортостатической устойчивости, изменение функции миокарда и др.) и нарушениями водно-солевого обмена (гипогидратация, повышенная экскреция электролитов); 5) установить, изменится ли характер экскреции почками воды и электролитов с увеличением сроков полетов; 6) разработать рекомендации для восстановления функции кровообращения в послеполетном периоде.

Указанные задачи, естественно, не исчерпывали всего объема физиологических исследований, которые были проведены по программе полетов космических кораблей. Самостоятельный интерес представляли метаболические, эндокринные, гематологические исследования, а также изучение реакций пищеварительной системы и особенностей аутомикрофлоры покровных тканей.

Задачи и результаты этих исследований приводятся в специальных главах.

### Некоторые проблемы медицинского обеспечения

Полетам на кораблях «Союз» предшествовали наземные комплексные испытания с целью проверки работоспособности систем жизнеобеспечения (СЖО): регенерации атмосферы, водообеспечения и питания, комплектов полетной одежды и личной гигиены, регулирования температуры и влажности воздуха, ассенизации. Основная задача состояла в оценке среды обитания и функциональных возможностей человека в условиях, имитирующих различные варианты полетов кораблей «Союз», их стыковки, переходов экипажа из одного корабля в другой.

Большое внимание было уделено экспериментальному обоснованию рекомендаций и построению режима труда и отдыха космонавтов в полетах различной продолжительности. Как было уже указано, специалисты космической медицины не располагали исчерпывающими сведениями, которые могли бы оценить роль каждого неблагоприятного фактора космического полета в возникновении функциональных расстройств. Разрабатывались допустимые объемы работ, пределы насыщенности программы полета, времени, которое следует затратить на выполнение конкретной операции в невесомости. Эти вопросы не утратили своей актуальности и в настоящее время.

При планировании, организации и проведении полета учитывалось, что правильно построенный распорядок жизни космонавта, рационально организованный режим труда и отдыха являются основными условиями сохранения здоровья и высокой работоспособности человека в космосе. Режим в полете был построен на основе 24-часовых суток и предусматривал обязательное совпадение ритма сна — бодрствования с привычным в условиях Земли.



При планировании и организации пилотируемых полетов на кораблях «Союз» учитывалась возможность воздействия на организм человека на трассе полета радиационного излучения галактики. Поэтому были поставлены задачи по обеспечению радиационной безопасности экипажей.

Корабли были оснащены дозиметрической аппаратурой и средствами противорадиационной защиты, а во время полета функционировала Служба радиационной безопасности, обеспечивающая необходимый контроль радиационной обстановки как в корабле, так и на трассе его полета.

Особое место в осуществлении программы «Союз» занимали подготовка и проведение экспериментального полета «Союз — Аполлон» (ЭПАС). Основной задачей ЭПАС являлось испытание совместных средств сближения и стыковки, разрабатываемых для будущих советских и американских пилотируемых космических кораблей и космической станции СССР и США. Создание средств сближения и стыковки служит повышению безопасности пилотируемых полетов в космосе и способствует расширению возможностей проведения совместных экспериментов в будущем.

Одной из основных задач подготовки совместного полета кораблей «Союз — Аполлон» являлось обеспечение безопасности перехода экипажей из одного корабля в другой. Дело в том, что среды кораблей несовместимы в связи с различием основных параметров их атмосфер. Атмосфера корабля «Союз» близка к земной, характеризуется давлением около 760 мм рт. ст. при обычном содержании кислорода 19—33% и азота 66—78%. В корабле «Аполлон» среда чисто кислородная при давлении 260 мм рт. ст. Непосредственный переход из корабля «Союз» в корабль «Аполлон» при сохранении традиционных величин давления и состава атмосфер был бы невозможен вследствие большой вероятности развития декомпрессионных нарушений. Проблема состояла в обосновании приемлемых величин давлений в кораблях, исключающих возможности возникновения декомпрессионных расстройств при переходе членов экипажей из одного корабля в другой.

Специфические условия полета с одновременным пребыванием на станции «Союз» — «Аполлон» пяти членов экипажа выдвинуло ряд медицинских задач, имеющих отношение к каждому звену медицинского обеспечения полета (отбор, подготовка и тренировка совместных экипажей, сбор и анализ результатов медицинского контроля, совместное проведение медико-биологических экспериментов и т. д.).

По программе «Союз» были продолжены и биологические исследования, начатые в полетах космических аппаратов «Восток», «Восход», «Зонд», «Космос». В летных экспериментах были использованы оплодотворенная икра лягушки, сухие семена различных видов и сортов растений, микроорганизмы. Задача этих исследований состояла в изучении изменений в структурах и функциях биологических объектов под влиянием невесомости, ионизирующих излучений и факторов космического полета в их совокупности.

# Глава 2. ОТБОР И ПОДГОТОВКА КОСМОНАВТОВ ДЛЯ ПОЛЕТОВ НА КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЯХ «СОЮЗ»

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОТБОРА КОСМОНАВТОВ

К началу работ по отбору космонавтов для обеспечения пилотируемых полетов на космических кораблях серии «Союз» в Советском Союзе уже имелся определенный опыт, полученный по программам «Восток» и «Восход». Кроме того, были накоплены и использовались данные многочисленных исследований с моделированием некоторых факторов космического полета, а также материалы американских полетов на кораблях «Меркурий» и «Джемини».

Имеющиеся данные позволили представить характер функционирования физиологических систем организма в условиях космического полета и выяснить некоторые механизмы наблюдаемых изменений, происходящих под влиянием факторов полета. Это послужило основой для совершенствования системы отбора космонавтов и перехода к новому этапу освоения космического пространства по программе «Союз».

Психофизиологические реакции организма космонавтов на условия полета коротко сводятся к следующему.

Основной фактор космического полета — невесомость. Он обусловливает многие изменения, тонкие механизмы которых еще не изучены. Пока можно говорить лишь о том, что в невесомости значительно изменяется афферентация с тех рецепторов, которые реагируют на действие силы тяжести. Это прежде всего анализаторы положения и перемещения тела в пространстве (Газенко, 1962; Коробков, 1962; Ванюшина и др., 1966; Васильева и др., 1966; Какурин, 1968).

В космическом полете наблюдается обеднение зрительных восприятий, что обусловлено работой в замкнутом объеме корабля и отсутствием в космосе привычных зрительных ориентиров (Помогайло, Онуфраш, 1968). Изменение и обеднение проприоцептивной, зрительной и интероцептивной афферентации может привести к неблагоприятным последствиям в результате снижения тонуса коры головного мозга, который поддерживается потоком афферентных импульсов. Этому способствует ослабление мышечной деятельности, являющейся непременным условием сохранения обменных процессов организма на определенном уровне (Крупина и др., 1969; Парин, 1969; и др.).

В результате в коре головного мозга создается необычное состояние возбуждения, сопровождающееся перестройкой взаимодействия анализаторных систем. К тому же на определенных участках полета от космонавта требуется мобилизация моральных и физических сил для сохранения высокой работоспособности, что приводит к значительному нервно-эмоциональному напряжению.



Анализ физиологических показателей, зарегистрированных в орбитальных полетах, показал, что у всех космонавтов в той или иной степени наблюдалось снижение ортостатической устойчивости с явлениями детренированности сердечно-сосудистой системы, что может быть одним из проявлений адаптации организма к условиям невесомости.

Остановимся на главных явлениях, лежащих в основе «синдрома невесомости». Это прежде всего явления, связанные с исчезновением гидростатического давления крови, в результате чего происходит перераспределение объема циркулирующей крови, переполнение венозного русла, главным образом малого круга, полых вен и правого предсердия. Все это приводит к включению рефлекторных механизмов (рефлекс Гауера — Геринга), направленных на выведение жидкости из организма. Эндокринный компонент этого механизма, связанный с уменьшением продукции антидиуретического гормона и альдостерона, определяет нарушения водно-солевого равновесия, что подтверждают отмеченные в полете дефицит кальция и калия и другие биохимические сдвиги. Недогрузка мышечной системы приводит к уменьшению мышечной массы (атрофия от бездействия). Нарушение тканевого баланса калия может проявиться для сердечной мышцы в повышении возбудимости и нарушении сердечного ритма.

Вышеуказанные соображения и факты определяют необходимость тщательных целенаправленных обследований функций сердечно-сосудистой системы на всех этапах отбора космонавтов, а также содержание комплекса исследований в полете.

Другим существенным проявлением действия невесомости на организм следует также считать нарушения вестибуло-вегетативных реакций.

Известно, что резервные возможности и приспособляемость организма человека при неблагоприятных воздействиях внешней среды поистине огромны. В связи с этим важно найти критерий их оценки, в частности применительно к профессиональным особенностям деятельности космонавтов. При отборе космонавтов критерием высокой устойчивости организма к неспецифическим стрессорам следует считать не только полноценное здоровье, но и особенности функционирования физиологических систем, которые обеспечивают быструю адаптацию, устойчивость целенаправленных двигательных реакций, достаточную подвижность основных нервных процессов и т. д. (Коробков, 1962, 1963). Задачей дальнейших исследований в этом направлении следует считать изыскание конкретных показателей, методик определения устойчивости организма к неспецифическим стрессорам.

Накопление данных о влиянии факторов и условий полета на организм космонавта по мере осуществления космических полетов человека на кораблях «Восток» и «Восход», а также анализ материалов исследований при моделировании указанных факторов на Земле позволили усовершенствовать систему отбора космонавтов для кораблей «Союз» (Гуровский, 1966; Егоров и др., 1967; Крупина и др., 1969).

Усложнение задач, решаемых в космическом полете, и проведение широкого круга научных исследований потребовали включения в состав экипажей космических кораблей «Союз» космонавтов-исследователей и космонавтов-испытателей различных специальностей, которые, в частно-

сти, должны были выполнять функции бортинженеров. Космический корабль в сравнительно небольшом объеме заключает целый комплекс сложнейших систем самого различного назначения. Это системы ориентации и стабилизации, терморегулирования, связи, обеспечения жизнедеятельности, контроля работы бортовой аппаратуры, медицинского контроля состояния членов экипажа и т. д. Бортинженер обязан непрерывно следить за работой всех этих систем, предупреждать возможные неисправности путем проведения регулярных профилактических осмотров и необходимых ремонтных работ.

Отбор бортинженеров для полета на кораблях «Союз» осуществлялся из числа специалистов, участвующих в конструировании корабля и его систем и работающих на предприятиях, создающих космическую технику. Особенность отбора подобных специалистов и подхода к этой категории кандидатов в космонавты во многом определялась их ролью в полете, учитывались их возрастные особенности, обусловливающие различные отклонения в состоянии здоровья, недостаточный уровень их физической подготовленности. Вместе с тем необходимо было учитывать также их профессиональную ценность как специалистов.

Программы обследования и применяемые при отборе космонавтов-исследователей и космонавтов-испытателей методы не имели принципиальных различий или каких-либо специфических особенностей по сравнению с отбором первых летчиков-космонавтов. Различия состояли лишь в трактовке получаемых данных с точки зрения возможности повышения функциональных резервов и проведения оздоровительных мероприятий в процессе подготовки к полету, имеющих целью сохранить необходимого специалиста. При проверке кандидатов в космонавты-исследователи кораблей «Союз» важным являлось решение вопроса — может ли выявленная особенность в реакциях отрицательно сказываться на будущей деятельности специалиста как члена экипажа космического корабля (Гуровский, 1966; Крупина и др., 1969).

Отбор и подготовка космонавтов для кораблей «Союз» рассматривались как единый и непрерывный процесс обучения человека профессиональной деятельности и вместе с тем выработки у него высокой устойчивости к действию факторов космического полета и проводились в несколько этапов: амбулаторных обследований; обследований в условиях стационара; обследований в процессе подготовки к полету.

Амбулаторный этап обследования имел целью выявление явной патологии и тех функциональных нарушений, которые являются абсолютным противопоказанием для допуска к космическому полету.

Отбор в условиях стационара предполагал выявление скрытой патологии, начальных доклинических форм заболеваний, незначительных изменений функционального состояния органов и систем человека и определение функциональных резервов организма. Важное значение на этом этапе имело специальное психологическое обследование.

В стационаре проводилось комплексное клиническое обследование (с участием терапевта, хирурга, невропатолога и психолога), при этом, кроме обычных методов, использовались специально разработанные функциональные пробы-нагрузки, которые рассчитаны на то, чтобы всесторонне оценить резервы той физиологической системы, к которой они адресованы.



Лица, прошедшие стационарное обследование, оказавшиеся здоровыми в клиническом отношении и показавшие хорошую переносимость функциональных проб-нагрузок, в дальнейшем проходили специальную подготовку, основной задачей которой было повышение устойчивости и выработка адаптационно-приспособительных реакций организма будущего космонавта к действию специфических факторов космического полета, выработка необходимых рабочих навыков в управлении системами и аппаратурой космического корабля.

К тренировке допускались лица с некоторыми нарушениями в состоянии здоровья (сердечно-вегетативная неустойчивость, незначительное изменение уровня желудочной секреции, пониженный уровень вестибулярной устойчивости, недостаточная физическая подготовленность и др.), так как нами учитывались их профессиональная подготовленность и функциональные обязанности в полете. В отношении указанных лиц как в процессе отбора, так и в период первоначальной подготовки проводилась санация и широкий круг лечебно-оздоровительных мероприятий: общеукрепляющая физическая подготовка, закаливание, некоторые оперативные вмешательства, использование климатологических факторов, регламентация и медицинский контроль условий питания, труда и отдыха.

Важное место в процессе всей подготовки отводилось систематическому непрерывному медицинскому контролю, обеспечивающему оценку функциональных резервов и адаптационно-приспособительных реакций каждого кандидата. Это, по существу, следующий этап отбора — «отбор в процессе подготовки к полету».

На этом этапе овладение новой профессиональной деятельностью тесно связано с задачей повышения устойчивости организма к факторам космического полета. В процессе подготовки выявляются такие качества, как быстрота и устойчивость адаптационно-приспособительных реакций, что является важным критерием в оценке функциональных возможностей кандидата. Поэтому нагрузочные функциональные пробы, используемые на этом этапе отбора и подготовки, должны с возможно большей полнотой имитировать факторы космического полета.

Анализ данных, полученных на всех этапах отбора космонавтов, а также материалов клинических, физиологических и психологических исследований позволяет рекомендовать кандидатов, наиболее подготовленных и устойчивых к действию комплекса факторов космического полета, в состав экипажа.

Перспектива длительных полетов требует от врачей изыскания и отработки новых методов с действием раздражителей, адекватных длительно действующим стрессовым раздражителям, характерным для реального полета. Необходима также разработка вопросов о поддержании адаптационно-приспособительных возможностей космонавта путем профилактики в период подготовки и во время полета.

### Некоторые вопросы психологического отбора космонавтов-исследователей и космонавтов-испытателей

Отбор и комплектование экипажей космических кораблей лицами, удовлетворяющими по своим индивидуально-психологическим особенностям требованиям полетной программы и безопасности полета, достигается в

СССР системой психофизиологической экспертизы. Последняя, базируясь на опыте авиационной медицины, общей психологии и клинической психоневрологии, представляет собой комплекс оценочных мероприятий, в котором характер экспертных требований к кандидату определяется задачами отдельных этапов профессиональной и физической подготовки к полету.

Период освоения человеком космического пространства, реализуемого программой «Союз», отличался некоторыми особенностями, как в техническом отношении (многоместные корабли и орбитальные станции, оснащенные системами для решения сложных профессиональных задач), так и в социально-психологическом подходе к вопросам комплектования экипажей космических кораблей. При разработке системы психологического отбора и подготовки космонавтов-исследователей (испытателей) и при установлении экспертных требований учитывались такие особенности программы «Союз, как большая численность и многопрофильность экипажа, повышенная сложность и насыщенность полетных программ (большая экспозиция экстремальных воздействий, групповая изоляция и пр.).

Включение в отряд космонавтов научных работников разного профиля с определенными возрастными отклонениями в состоянии здоровья и физическом развитии, не имеющих опыта работы в стрессовых условиях, выдвинуло в число первоочередных также и проблему разработки и совершенствования методов диагностики по изучению психических реакций, связанных с активной адаптацией к условиям космического полета, т. е. стала необходимой и разработка самостоятельных видов психологической подготовки.

Итак, психофизиологический отбор выступал как динамический процесс, распространяющийся и на период подготовки, составным элементом которой являлась медико-педагогическая работа, направленная на совершенствование приспособительной деятельности и установление индивидуальных возможностей кандидата по саморегуляции поведения.

Принципы, положенные в основу психофизиологической экспертизы, предполагают, во-первых, углубленное изучение различных уровней личности кандидата (психологические функции, типологические особенности, личностные качества) на основе структурно-динамического подхода; во-вторых — получение целостного представления о личности обследуемого, функциональных возможностях и психологических резервах при действии стресс-факторов.

Вся система психофизиологической экспертизы, будучи органическим элементом общеклинического отбора и общефизической и специальной подготовки, охватывает три этапа: этап стационарного обследования; этап общефизической подготовки без отрыва кандидатов от основной профессиональной деятельности; этап тренировок экипажа по конкретным полетным программам.

Психофизиологический отбор в стационаре предусматривает выявление лиц с нежелательными и труднокорригируемыми профессионально-значимыми качествами, определение психологического статуса и уровня функциональных возможностей нервно-психической сферы контингента в условиях лабораторного эксперимента и стендовых испытаний. Экспертной оценке на данном этапе подлежат такие качества, как внимание, память (оперативная), скорость сенсомоторных реакций, помехоустойчивость, эмоциональная стабильность в ситуациях неудачи и обвинения, способность к самоконтролю и т. п.



Для исследования указанных профессионально-значимых качеств используется комплекс методических приемов, включающий беседу, экспериментально-психологические пробы (проба на зрительно-моторные реакции, реакции на движущийся объект, работа с черно-красной таблицей, речевые ассоциативные, постурально-координаторные пробы и т. д.), личностное тестирование (для оценки личностной направленности, эмоциональной устойчивости, уровня тревоги, коммуникативых свойств, особенностей индивидуального реагирования в условиях психологически трудных ситуаций и т. п.), клинико-психологическое наблюдение за поведением в экспертной ситуации.

Опыт работы с кандидатами в космонавты показал, что уже в условиях стационара значение самой экспертной ситуации для обследуемого оказывается настолько высоким, что эксперт-психоневролог часто получает в качестве материала для оценки так называемое «установочное» поведение. В общих чертах его можно охарактеризовать как реализацию потребностей испытуемого индентифицировать себя с неким «идеальным космонавтом», модель которого формируется в связи с принятием новой социальной роли. Типичные проявления его в психологическом эксперименте характеризуются, как правило, дисциплинированностью, попыткой «оправдать» ожидания и надежды эксперта даже в случае недостаточно адекватного уровня профессионально-значимых свойств (качеств) личности, установленного с помощью нагрузочных функциональных проб и стендовых испытаний (центрифуга, камера для исследования сна).

Наряду с этим встречается вариант поведения, названного нами «высокомотивированным», когда у кандидата обнаруживается достаточная независимость поведения от текущей (экспертной) ситуации. Такого рода поведение наблюдалось нами у одного из кандидатов как на этапе стационарного обследования, так и в период общефизической подготовки. Оно выражалось в отрицании целесообразности отдельных видов подготовки, изыскании «аргументов» для отказа от участия в них, избирательных контактах, высокой уверенности в себе (на грани самоуверенности), высоких лидерских притязаниях в сочетании с некоторой раздражительностью и обидчивостью при неформальном взаимодействии с другими членами отряда.

Выявленные черты, идущие вразрез с требованиями экспертной ситуации, давали повод сомневаться в психологической пригодности данного кандидата и требовали дифференциального диагноза с реакциями психопатического плана. Лишь приведение в систему причинно-следственных связей и последовательный анализ отдельных феноменов поведения, относящихся к различным временным отрезкам и разнообразным ситуациям, позволили прийти к заключению, что в данном случае мы имеем дело с осознанной стройной программой действий.

Подобная тактика поведения, при всей его видимой неадаптивности, выглядит перспективной применительно к «критическим» ситуациям непродолжительного полета, если речь идет о высококвалифицированном специалисте.

Однако она потребовала уточнения основных задач психофизиологической экспертизы и определила характер медико-педагогической работы

с кандидатом на последующих этапах спецподготовки с целью совершенствования психологических компенсаторных механизмов и преодоления кандидатом неадаптивных тенденций.

Основными задачами экспертного обследования на этапе общефизической подготовки кандидатов (без отрыва от основной профессиональной деятельности) оказались: совершенствование некоторых профессионально-значимых качеств; изучение эмоциональных реакций и поведения в сложных пространственных условиях; исследование внутригрупповых отношений.

Отличительной особенностью данного этапа экспертизы следует считать то, что он, как правило, проводится в натурных условиях, включая различного рода тренировочные сборы, эксперименты на «выживание» с относительной социальной изоляцией группы в сложных климато-географических условиях, парашютную, летную и другие виды подготовки. Кроме того, кандидат в этом случае рассматривается не изолированно, а в составе коллектива, что позволяет эксперту более глубоко оценить его коммуникативные свойства.

В этих условиях эксперт особое внимание уделял оценке таких качеств, как эмоциональная устойчивость при выполнении элементов альпинистской подготовки, скалолазанья, горных восхождений, парашютных прыжков; умение понимать групповую задачу и свою роль в ее решении. Иными словами, объектом исследования выступает адаптивность в поведении кандидата в условиях сложно изменяющегося окружения, а в системе методических приемов акцент переносится на клинико-психологическое наблюдение в сочетании с бланковыми индивидуальными и групповыми методами (социометрия, Q-сорт и др.) исследования.

Для интегральной оценки личности эксперт-психоневролог на данном этапе получает широкие возможности. Как показал наш опыт работы, постоянное неформальное общение с обследуемыми, совместное участие в регламентированной деятельности на правах члена группы, совместное преодоление возникающих трудностей — все это создает устойчивый психологический контакт, на базе которого у эксперта формируется более отчетливое представление об индивидуально-психологических свойствах, личностных чертах и психологических резервах кандидата, его адаптивных возможностях.

Возникающее взаимопонимание и доверие создавало реальную почву для индивидуализации медико-психологической работы в необходимых случаях (типа совместного разбора наблюдаемых вариантов поведения в различных ситуациях).

Наряду с этим материалы клинико-психологического наблюдения позволяли уточнить первоначальный экспертный диагноз и сформулировать прогноз на последующие этапы подготовки.

Дальнейшая экспертная работа включает психофизиологическое обследование членов экипажа при отработке отдельных элементов полетной программы на специальных стендах и тренажерах. Основное внимание при этом уделяется выявлению возможностей экипажа к эффективному взаимодействию при решении конкретных задач программы полета и самостоятельному преодолению возможных трудных внутригрупповых ситуаций. Медико-педагогическая работа с экипажем на данном этапе должна включать также обучение командира приемам внутригруппового управления с учетом индивидуальных тактик поведения, отмеченных у членов экипажа на этапах подготовки.



Таким образом, система психологического отбора и подготовки космонавтов, как инструмент обеспечения психологической надежности экипажа в условиях реального космического полета, оказалась, как нам представляется, достаточно адекватной задаче успешного обеспечения полетов по программе «Союз» и, что не менее существенно, информативной в отношении развития в полете психических состояний (реакций) в соответствии с прогнозируемыми на Земле особенностями адаптивного поведения.

Однако вероятность появления в полете непрогнозируемых ранее реакций и состояний, как выражение высоких пластических свойств личности при адаптации к новой среде, требует от специалистов постоянного внимания к вопросам совершенствования психофизиологической экспертизы. Все это подчеркивает настоятельную необходимость в проведении дальнейших исследований, конечной целью которых явится высокая надежность космических экспедиций будущего.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДГОТОВКИ ЛЕТЧИКОВ-КОСМОНАВТОВ

Исходя из предположения определенной аналогии стратосферного и космического полетов, первые космонавты отбирались из летчиков. Практика авиационной медицины, полеты по программам «Восток» и «Восход», полеты на кораблях «Меркурий» и «Джемини» послужили предварительным этапом построения и совершенствования подготовки космонавтов к космическим полетам на кораблях серии «Союз».

Известно, что космический полет предъявляет к космонавту разнообразные и подчас необычные требования. Это обусловлено многими особенностями, которые можно классифицировать следующим образом:

Особенности, связанные с динамикой полета и конструкцией корабля (перегрузки, невесомость, ограничение подвижности, своеобразие микроклимата, питания, санитарно-гигиенических условий, необычные условия отдыха и др.);

Особенности, связанные с отсутствием абсолютной надежности и безотказности техники (возможность разгерметизации, выхода из строя отдельных узлов, агрегатов, систем и др.).

Особенности социально-психологического плана (огромная ответственность за порученное дело, обеднение внешней афферентации, монотонность раздражителей, общение с узким постоянным кругом людей, своеобразие психического состояния, обусловленное чувством отрыва от Земли, необычность обстановки, отсутствие возможности полного уединения, «публичность» жизни, неопределенность ситуации и др.);

Особенности общественно-научного характера (разнообразие и сложность методик исследований и аппаратурной оснащенности, многоплановость научных исследований, возможность появления нового, неизведанного и др.).

Для того чтобы жить и работать в подобных условиях, космонавт должен быть физически и психически здоровым, тренированным человеком.

Однако даже самый тщательный медицинский и профессионально-психологический отбор не может гарантировать того, что у будущих космонавтов будут достаточно развиты все психофизиологические качества, необходимые для успешного выполнения космического полета. Поэтому профессия космонавта, как и любая другая, требует достаточно длительного процесса обучения и практической деятельности. Процесс подготовки космонавтов, как правило, дело нескольких лет, в течение которых космонавт проходит несколько этапов, прежде чем приступить к выполнению конкретной программы космического полета.

В настоящее время основными видами подготовки космонавтов являются летная, космическая и медико-биологическая. Каждая из них имеет определенные особенности в зависимости от этапа подготовки.

**Летная подготовка** призвана воспитывать мужество, смелость, настойчивость в выполнении поставленной задачи, формировать общие навыки и представления об условиях космического полета — перегрузках и невесомости, шумах и вибрациях, ограниченных объемах рабочего места, спецснаряжении, большом количестве приборов контроля, пространственной ориентировке как по внешним ориентирам, так и по приборам. Она должна прививать умение работать в условиях дефицита времени и перегрузки информацией, а также отрабатывать некоторые конкретные навыки по управлению летательными аппаратами, адекватно условиям управления космическим кораблем.

**Космическая подготовка** должна обеспечить подготовку космонавта по управлению космическим кораблем и эксплуатации его систем и оборудования на всех участках космического полета путем теоретического и практического изучения конструкции корабля и его систем, отработки навыков по управлению кораблем и выполнению различных операций, предусмотренных программой полета, а также получение знаний, навыков и умений по работе с испытательно-исследовательским оборудованием и выполнению различных экспериментов в полете.

Для космической подготовки космонавтов используются функциональные, специализированные и комплексные тренажеры. Основное назначение функциональных тренажеров — отработка профессиональных навыков по эксплуатации отдельных приборов или систем космического корабля.

На специализированных тренажерах космонавты отрабатывают навыки по выполнению определенных конкретных задач, предусмотренных программой полета, например стыковки. И, наконец, комплексные тренажеры, предназначенные для отработки программ космических полетов, дают возможность космонавту отрабатывать действия на основных этапах полета, включая предстартовую подготовку, выведение на орбиту, орбитальный полет, подготовку к спуску и спуск.

Таким образом, все знания, навыки, умения, приобретенные космонавтами при тренировках на функциональных и специализированных тренажерах как элементы обобщенных схем поведения, интегрируются на комплексных тренажерах. Обычно комплексные тренажеры представляют натурными макетами космических кораблей, вычислительным комплексом, моделирующим динамику полета, различными имитаторами внешнекосмической обстановки, пультом инструктора и регистрирующей аппаратурой. Комплексный тренажер связан с пунктами управления полетом, что дает возможность отрабатывать взаимодействие экипажа с группами управления полетом.



На ранних этапах подготовки космонавты принимают участие в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах по космической тематике. В результате этого приобретаются навыки и опыт ведения научной работы.

**Медико-биологическая подготовка** проводится с целью повышения психофизиологической устойчивости космонавтов к действию неблагоприятных факторов космического полета и подготовки космонавтов к проведению медико-биологических экспериментов и наблюдений в полете. В процессе медико-биологической подготовки осуществляется постоянный контроль за состоянием здоровья космонавтов и проводится лечебно-профилактическая и оздоровительная работа.

В задачу подготовки к воздействию факторов и условий космического полета входит: теоретическое ознакомление космонавтов с основами авиационной и космической медицины; изучение индивидуальных психофизиологических и психологических особенностей космонавтов; повышение устойчивости организма космонавтов к воздействию факторов космического полета и поддержание на высоком уровне состояния общей и специфической тренированности.

В зависимости от индивидуальных особенностей космонавтов подготовка может принципиально ограничиваться исследованиями или различными по продолжительности и интенсивности циклами тренировок.

Первые космические полеты подтвердили правильность выбора основных направлений и методов медико-биологической подготовки (Гуровский, 1966). Однако они же показали необходимость непрерывной корректировки отдельных разделов системы подготовки космонавтов. По мере получения новых данных вносились необходимые изменения в систему, хотя следует отметить, что ее принципиальная основа осталась неизменной.

Для решения одной из основных задач медико-биологической подготовки космонавтов — обеспечения высокой работоспособности при воздействии неблагоприятных факторов полета — используется широкий арсенал разнообразных методов тренировки, как неспецифических, так и специфических.

Одним из важнейших неспецифических средств повышения психофизиологической устойчивости человека к условиям и воздействиям факторов космического полета является физическая подготовка. Этот вид подготовки влияет на общие адаптационные способности организма, которые со своей стороны зависят от режима применяемых нагрузок.

Активная двигательная деятельность вызывает огромный поток сенсорной информации, оказывает трофическое влияние, активизирует функцию желез внутренней секреции, способствует совершенствованию нервно-гуморальной регуляции физиологических функций и повышает устойчивость организма к различным неблагоприятным воздействиям. Рационально построенная физическая подготовка приводит к укреплению здоровья, развивает функции внимания, совершенствует двигательную координацию и пространственную ориентировку, воспитывает волевые качества, повышает эмоциональную устойчивость, а также способствует совершенствованию таких физических качеств, как сила, ловкость, вынос-

ливость (Зимкин, 1958; Коробков, 1963; и др.). Обычно различают общеукрепляющую и специальную физическую подготовку. Последняя направлена на повышение устойчивости к специфическим воздействиям (вестибулярным, гравитационным и др.).

К категории неспецифических методов можно также отнести аутогенную тренировку и метод самовнушения, при которых вначале вызывается состояние мышечной релаксации, а затем функционирование тех или иных систем организма. При помощи этого метода можно научиться быстро засыпать, просыпаться в заданное время, устранять чувство страха и т. д. (Свядощ, Ромен, 1967).

В повышении неспецифической устойчивости организма космонавтов к экстремальным факторам играют роль фармакологические воздействия, применение адаптогенов, витаминов.

При составлении программ подготовки космонавтов руководствовались следующими общими физиологическими принципами подготовки организма, основанными на представлениях о функциональной адаптации организма и роли в этом процессе специфичности раздражителя: принципом многократного повторения, что является важнейшим условием совершенствования высшей нервной деятельности, т. е. выработки новых условных связей и соответствующей переработки старых. Это, как известно, лежит в основе образования, закрепления и совершенствования координации вегетативных функций организма; принципом систематичности тренировок; принципом постепенного повышения нагрузки, что обусловлено закономерностями общебиологического явления приспособления; принципом периодического включения субмаксимальных и максимальных нагрузок, что является непременным условием повышения функциональных возможностей и тренированности организма; принципом индивидуального подхода к выбору интенсивности и длительности воздействия специфического фактора соответственно функциональному состоянию организма и предстоящему заданию.

Большое место в медико-биологической подготовке отводится испытаниям и тренировкам с воздействием таких факторов, как перегрузки, гипоксия, вестибулярные раздражители и т. д. Для разработки индивидуальных программ тренировок используются результаты предварительных исследований устойчивости к тому или иному фактору. Аналогичные исследования ведутся и для оценки эффективности проведенных тренировок.

На ранних этапах развития космической медицины большое значение придавалось тренировочным вращениям на центрифуге.

В исследованиях А. Р. Котовской и соавт. (1964) и других показано наличие тренировочного эффекта при неоднократных вращениях человека на центрифуге с предъявлением умеренных величин поперечно направленной перегрузки.

Исследования на центрифуге на этапе общекосмической подготовки проводятся с целью определения индивидуальной устойчивости организма космонавтов к длительно действующим поперечно направленным ускорениям и выработки необходимых навыков поведения при действии перегрузок. На этапе непосредственной подготовки космонавты знакомятся со штатными величинами перегрузок по графику выведения на орбиту и спуска с нее.



Опыт пилотируемых полетов советских и американских космонавтов показал, что адаптация к невесомости может сопровождаться развитием вестибуло-вегетативных расстройств, ощущением вестибулярной нагрузки и пространственных иллюзий (Хилов, 1964; Юганов и др., 1968; Брянов и др., 1970, 1973; и др.). Были сформулированы основные принципы подготовки человека к существованию в условиях невесомости (Емельянов и др., 1962; Брянов, 1963; Гуровский и др., 1965; Еремин, Колосов, 1965; Юганов и др., 1965; и др.). Было показано, что параболические полеты на самолетах с воспроизведением кратковременной невесомости являются весьма эффективным специфическим методом подготовки организма к жизнедеятельности в условиях невесомости (Хрунов, 1972; и др.). Этот вид подготовки предназначен для изучения индивидуальных психофизиологических реакций космонавтов, для испытания космонавтами специального оборудования, агрегатов, инструментов, для отработки оптимальных способов выполнения рабочих операций применительно к типовым космическим кораблям, для отработки методик выполнения некоторых научно-технических экспериментов, подготовительных операций по выходу в открытый космос, одевания и снятия спецснаряжения, выхода из корабля в космос, монтажно-демонтажных и ремонтных работ.

Вестибулярные тренировки имеют целью повышение устойчивости к адекватным раздражениям активными и пассивными методами (Емельянов и др., 1962; Брянов, 1963; Хилов, 1964; Гуровский и др., 1965; Маркарян, 1965). Они проводятся циклами с последующим определением уровня достигнутой тренированности. На этапе общекосмической подготовки ведутся как исследования, так и тренировки по общей для всех космонавтов программе, на этапе непосредственной подготовки — исследования и тренировки по индивидуальному плану.

С целью определения индивидуальной устойчивости к воздействию высоких температур, что является специфическим условием деятельности космонавта в снаряжении с ограниченным теплосъемом, ведутся исследования в термокамере. На этапе непосредственной подготовки они проводятся только с теми космонавтами, которым предстоит работа в скафандре в открытом космосе.

В целях определения переносимости умеренных степеней кислородного голодания, больших степеней разрежения атмосферы и перепадов барометрического давления, отработки навыков эксплуатации индивидуальных и коллективных средств защиты экипажей космических кораблей в барокамере, а также для отработки навыков управления системами шлюзования и жизнеобеспечения предусматривается высотная подготовка.

Особой формой подготовки являются тренировки в условиях высокогорья и среднегорья с целью повышения неспецифической устойчивости организма к факторам космического полета за счет комплексного влияния пониженного атмосферного давления и парциального давления кислорода, резких колебаний температуры и влажности окружающего воздуха, большой ультрафиолетовой и инфракрасной радиации и т. д. (Барбашова, 1960). Обычно они совмещаются с такими разделами подготовки, как изучение звездного неба и работа с астронавигационной аппаратурой, кинофотоподготовка, практическое изучение вопросов геологии, ознакомление с фауной и флорой гористой местности, действия по пользованию наземным аварийным запасом и т. п.

Для выявления индивидуальных нервно-психических особенностей космонавтов в условиях длительного одиночества при различной регламентации суточного ритма в интересах прогнозирования надежности и эффективности операторской деятельности космонавта применительно к программам полета и определения совместимости отдельных индивидуумов для работы в составе экипажа космического корабля в процессе подготовки проводятся сурдокамерные и различные психологические исследования. Если первичный комплекс психологического обследования предусматривает изучение индивидуально-психологических особенностей космонавта в целях выдачи рекомендации по индивидуализации профессиональной подготовки космонавтов, то комплекс групповых исследований предусматривает социометрическое изучение отношений в малых группах.

Особый раздел медико-биологической подготовки составляют медицинские исследования и наблюдения в процессе летной и космической подготовки. Они проводятся на всех этапах с целью изучения функциональной приспособляемости космонавтов, их работоспособности, психофизиологической устойчивости при комплексном воздействии различных факторов.

Результаты медицинских исследований, проводимых при медико-биологической подготовке, используются с целью отбора космонавтов. Выявление скрытой органической патологии или функциональной недостаточности при воздействии факторов космического полета в ряде случаев может служить основой для проведения подробных клинических исследований и вынесения врачебно-экспертных решений в ходе подготовки космонавта.

Медико-биологическая подготовка к выполнению программы космического полета проводится на этапе непосредственной подготовки и предусматривает ознакомление космонавтов с:

Психофизиологическими и физиолого-гигиеническими особенностями предстоящего космического полета.

Правилами эксплуатации бортовой медицинской аппаратуры и методиками проведения оперативного и периодического медицинского контроля.

Методиками выполнения медико-биологических исследований и экспериментов и получения фоновых данных.

Оказанием само- и взаимопомощи в полете и после его окончания с использованием штатных (бортовая аптечка) и подручных средств.

Режимом труда, отдыха и питания в космическом полете, с бортовым рационом питания.

Правилами эксплуатации систем жизнеобеспечения космического корабля.

Пользованием средствами профилактики отрицательных последействий длительного пребывания в условиях невесомости.

Успешное выполнение полетов советскими космонавтами явилось ярким подтверждением правильности построения отбора и подготовки космонавтов.

Вместе с тем практика обеспечения космических полетов показала необходимость непрерывного изменения и совершенствования методов подготовки. Каждый полет приносил данные, которые заставляли уточнять, изменять, индивидуализировать методы отбора и подготовки, вводить новые, более прогностические и эффективные.



### Особенности подготовки космонавтов-исследователей

Создание многоместных космических кораблей, усложнение задач, решаемых в космическом полете, необходимость испытания во время экспедиций сложной космической техники, а также проведения широкого круга научных исследований привело к необходимости включения в состав экипажей космических кораблей исследователей высокой научно-технической квалификации.

В СССР и США подготовка первых космонавтов проводилась с отрывом их от основной профессиональной деятельности. Следует подчеркнуть, что специалисты — кандидаты в космонавты, отобранные из числа научных работников и инженеров высокой квалификации, как правило, имеют недостаточный уровень физической подготовленности и вестибулярной устойчивости, а также некоторые нарушения в состоянии здоровья, что потребовало несколько иного подхода к построению медико-биологической подготовки этой категории кандидатов. Схема организационно-методического построения подготовки космонавтов-исследователей из лиц нелетных профессий предусматривала введение начального этапа подготовки без отрыва кандидатов от основной профессиональной деятельности.

Главной задачей этого этапа медико-биологической подготовки было повышение неспецифической резистентности организма кандидатов в космонавты к различным неблагоприятным воздействиям внешней среды, применительно к условиям космического полета.

Многочисленные исследования (Еремин и др., 1965; Зимкин, 1958; и др.) показали эффективность повышения средствами физической подготовки неспецифической резистентности организма к воздействию многих неблагоприятных факторов, в том числе и к стрессовым нагрузкам. Особого внимания заслуживал метод повышения устойчивости организма путем длительного пребывания в условиях среднегорья (Барбашова, 1960; Сиротинин, 1965; Агаджанян, Миррахимов, 1970; и др.).

Исследования отечественных и зарубежных ученых (Margaria, 1964; Bunder, 1965; Devid, 1965; Лопухин, Копанев, 1967; Антощенков, Чекирда, 1968; Adams, Bulk, 1967) свидетельствовали о целесообразности применения подводного плавания при подготовке человека к космическим полетам. Создание нейтральной плавучести при глубоководных погружениях позволяет в известной степени имитировать состояние, близкое к невесомости. Перемещение человека в безопорном пространстве при подводном плавании знакомит его со спецификой движения, напоминающего движение в космическом пространстве, повышает неспецифическую устойчивость организма к гипоксии, вестибулярным раздражениям, совершенствует терморегуляцию. Опыт подготовки летчиков и подготовка первых космонавтов легли в основу программ подготовки, применяемых при начальном этапе подготовки кандидатов в космонавты-исследователи из лиц нелетных профессий. Таким образом, для серии кораблей «Союз» был осуществлен первый опыт введения начального цикла подготовки для кандидатов в космонавты-исследователи.

Начальная подготовка группы космонавтов-исследователей, предназначенных для полетов на космических кораблях «Союз», проводилась на базе предприятий. При этом много внимания было уделено рациональному планированию рабочего времени, организации быта и питания. Прог-

2 Заказ № 716

рамма медицинской подготовки этой группы кандидатов содержала широкий комплекс вопросов, включающих общую и специальную физическую подготовку, вестибулярные тренировки, изучение основ космической биологии и медицины, летную, парашютную и другие виды специальной подготовки. Кроме того, два раза в месяц проводились тренировки в суховоздушной бане, а с 1969 г. регулярно два раза в год зимой и летом проводились тренировочные сборы в условиях среднегорья.

Программа сборов в среднегорье предусматривала проведение физических и вестибулярных тренировок, изучение ряда теоретических и практических разделов по космической биологии и медицине, привитие навыков походной жизни и умения ориентироваться в горах, освоение элементов альпинистской техники, изучение теоретических и практических вопросов выживания в горной местности в случае вынужденной посадки космонавтов в горах. Сборы проводились на высотах 1400—2100 м с кратковременными подъемами до 3200—4200 м над уровнем моря. Программа тренировок по подводному плаванию была направлена на развитие группового взаимодействия, ориентировки под водой, координированных движений и перемещений в безопорном пространстве, повышение устойчивости к гипоксии, вестибулярным воздействиям, а также на повышение неспецифической устойчивости организма к неблагоприятным воздействиям внешней среды. Кроме того, проводилась отработка практических навыков при вынужденном приводнении.

Проведению сборов предшествовали занятия по ознакомлению со снаряжением по подводному плаванию, особенностями его эксплоатации, возможными неисправностями и мерами их устранения. Тренирующиеся знакомились с правилами погружения и всплытия, правилами обеспечения безопасности при погружении, а также возможными заболеваниями аквалангистов и их профилактикой.

Сложность в планировании и проведении тренировочных занятий на первом этапе подготовки заключалась не только в наличии особенностей в состоянии здоровья кандидатов в космонавты, но и в том, что занятия проводились главным образом после работы. При этом рабочий день их удлинялся до 9—10 час. в сутки, в связи с чем большое значение приобретали медицинский контроль и индивидуализация нагрузки.

При подготовке группы исследователей кораблей «Союз» система медицинского контроля предусматривала фоновые и ежеквартальные углубленные медицинские обследования, врачебные осмотры до и после различных воздействий и при заболеваниях, а также медицинское наблюдение за режимом труда, отдыха, питания при различных тренировках. Учитывались особенности состояния здоровья кандидатов.

Длительность начального этапа подготовки варьировала от 3—5 месяцев до 2,5 лет.

Физическая подготовка на первом этапе включала ежедневную утреннюю зарядку и учебно-тренировочные занятия по специальной программе три раза в неделю.

Результаты физической подготовки оценивались по комплексной методике, разработанной лабораторией Всесоюзного научно-исследовательского института физической культуры (полидинамометрия, хронометрирование, бег на тредбане с определенной скоростью и контрольные исследования на велоэргометре).



В результате индивидуализации нагрузки при выполнении различных упражнений к концу периода тренировки большинство занимающихся достигли примерно одинакового уровня подготовленности. Все они овладели навыками спортивных, технически сложных движений: упражнениями на батуте, прыжками в воду; техникой подводного плавания, упражнениями с водными лыжами, слаломом; успешно выполнялись контрольные упражнения на координацию движений.

Анализ изменений среднегрупповых и индивидуальных показателей физической подготовленности, достигнутых к концу тренировочного цикла, дает основание полагать, что физическая подготовка без отрыва от производства при систематическом посещении занятий может полностью обеспечить освоение программного материала.

В основу системы тренировки вестибулярной устойчивости был положен принцип индивидуального подхода с использованием комплексного метода активного и пассивного воздействия на вестибулярный анализатор. К активным методам относились физические упражнения, которые включали движения, оказывающие тренирующие воздействия как на отдельные звенья вестибулярного анализатора, так и на анализатор в целом. Пассивный метод предусматривал комплексное дозирование воздействия адекватных раздражителей, воспроизводимых на специальных стендах. Пассивная тренировка, как правило, начиналась после 2—3-месячного цикла тренировок активными методами в системе общеукрепляющей физической подготовки и проводилась в дни, свободные от занятий физкультурой.

Комплекс тренировочных воздействий не имел характера чрезмерных нагрузок, могущих вызвать перенапряжение регуляторных механизмов, а следовательно, и условнорефлекторное закрепление неблагоприятных реакций. Строго соблюдался принцип постепенного увеличения нагрузки. При проведении тренировок учитывалась специфичность привыкания.

Результаты комплексной вестибулярной тренировки кандидатов определяли по переносимости кумуляции ускорений Кориолиса — «КУК». При контрольных воздействиях регистрировали частоту сердечных сокращений (по данным ЭКГ), артериальное давление по методу Короткова. С 1968 г. программа медицинского контроля при комплексных вестибулярных тренировках предусматривала исследование гемодинамики по Н. Н. Савицкому, артериальную осциллографию, определение точности восприятия пространственных координат на приборе «Вертикаль»; кроме того, определялся интегративный показатель переносимости воздействия — процент использования резерва пульса.

В результате комплексных вестибулярных тренировок отмечено повышение вестибуло-вегетативной устойчивости и точности восприятия пространства. Наблюдалось отчетливое улучшение компенсаторно-приспособительных реакций организма при кумулятивном воздействии не только кориолисовых, но и прямолинейных ускорений: уменьшилась колеблемость гемодинамических показателей (частота пульса, артериальное давление, минутный и ударные объемы и др.), снизилась выраженность вестибуло-вегетативных рефлексов.

В табл. 1 приведены сводные данные по переносимости кумулятивного воздействия ускорений Кориолиса кандидатом в космонавты В. Н. Кубасовым в период подготовки на базе предприятия.

Таблица 1. **Частота пульса и выраженность вегетативных реакций (В.р.) при различной продолжительности действия ускорений Кориолиса**

| Дата | Фон | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | После пробы | В.р., степень * |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28.IX 1965 | 85 | 88 | 96 | 92 | 90 | 85 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 88 | 2 |
| 19.V 1966 | 76 | 80 | 82 | 84 | 84 | 82 | 84 | 82 | 80 | 82 | 82 | 82 | 80 | 78 | 78 | 78 | 78 | 1 |
| 5.VII 1966 | 68 | 70 | 74 | 72 | 72 | 70 | 62 | 70 | — | — | — | — | — | — | — | — | 68 | 0 |
| 26.VII 1966 | 74 | 74 | 68 | 64 | 68 | 64 | 70 | 68 | 74 | 78 | 78 | 68 | 74 | 74 | — | — | 74 | 0 |
| 9.VIII 1966 | 76 | 76 | 74 | 74 | 74 | 72 | 66 | 70 | 70 | 70 | 70 | 68 | 68 | 72 | 72 | 72 | 70 | 0 |
| 16.VIII 1966 | 68 | 76 | 74 | 74 | 74 | 72 | 66 | 70 | 70 | 70 | 68 | 68 | 72 | 72 | 72 | 72 | 70 | 0 |

* В.р. — вегетативные реакции по К. Л. Хилову.

У В. Н. Кубасова время переносимости функционально-нагрузочной пробы в процессе тренировок первого этапа подготовки увеличилось до 15 мин. Выраженность вегетативных реакций уменьшилась со 2-й степени до нулевой, снизилась и достигла относительной стабилизации частота пульса.

Данные медицинского контроля до и после цикла тренировок — переносимость пробы «КУК» в минутах, степень выраженности вегетативных реакций при воздействии; колеблемость ударного и минутного объемов крови, максимального и минимального артериального давления и частоты пульса при пробах; показатели использования резерва пульса свидетельствуют о том, что примененный метод тренировок дал положительный результат. Переносимость основного вида нагрузочной пробы — кумулятивного воздействия ускорений Кориолиса значительно увеличилась к концу тренировок, улучшились показатели состояния сердечно-сосудистой системы, в частности уменьшилась колеблемость ударного и минутного объемов крови, артериального давления, значительно снизилась колеблемость частоты пульса. Показатели использования резерва пульса имели тенденцию к снижению. Ошибка определения вертикали по средним данным до тренировок составляла 0,75°, после цикла тренировок 0,22°. Точность восприятия пространства в результате тренировочного цикла начальной подготовки увеличилась.

Таким образом, задача вестибулярных тренировок первого этапа подготовки кандидатов в космонавты-исследователи была выполнена. У кандидатов повысилась вестибуло-вегетативная устойчивость.

### Результаты медицинского контроля, полученные при подготовке в условиях среднегорья и подводного плавания

В первые 5—7 дней горной акклиматизации величина физической нагрузки была сниженной. В последующем величина нагрузки увеличивалась как за счет продолжительности занятий, так и за счет интенсивности выполнения отдельных упражнений. В первый период акклиматизации отмечалось учащение пульса на 5—10 ударов в минуту в состоянии покоя и более резкое — после физических упражнений. Артериальное давление в первые дни пребывания в горах или не изменялось, или повышалось на 5—10 мм рт. ст., после физической нагрузки — на 10—15 мм рт. ст. К 5—7 дню показатели пульса и артериального давления нормализовались, однако до конца сборов оставалась повышенная реакция пульса и артериального давления на физическую нагрузку и замедленный период восстановления этих показателей на стандартную пробу.



Убедительные данные получены при проведении пробы «PWC-170» у пятнадцати участников летнего сбора 1971 г. Непосредственно в горах исследования проводились на портативном велоэргометре со скоростью педалирования 55 об/мин.

У большинства участников сборов уже на третий день пребывания в горах физическая работоспособность увеличилась и составила 1481 кгм. На 12-й день она увеличилась у всех обследуемых до 1525 кгм, на 23-й день — до 1880 кгм. На равнине этот показатель несколько снизился (до 1797 кгм), но в среднем превышал исходный на 31%. Для сбора физическая работоспособность составляла 1370 кгм.

До поездки в горы и после возвращения на равнину оценивались функциональные возможности сердечно-сосудистой и дыхательной систем по данным, полученным во время пробы с дозированной физической нагрузкой (900 кгм/мин), выполняемой на велоэргометре в течение 5 мин. (табл. 2, 3).

Таблица 2. **Изменение показателей вентиляции и газообмена при велоэргометрии**

| Показатель | До сбора | После сбора | |
|---|---|---|---|
| | | сразу | через 45 дней |
| **Минутный объем дыхания, л/мин** | 8,9 | 11,5 | 11,2 |
| **$O_2$ (запрос), мл** | 7420 | 7053 | 6604 |
| **$O_2$ (долг), мл** | 1866 | 1725 | 1685 |
| **$O_2$ (пульс)** | 13,2 | 14,0 | 13,8 |
| **КПД, %** | 28,4 | 28,9 | 28,8 |
| **Коэффициент восстановления, усл. ед.** | 3,09 | 3,24 | 3,26 |
| **Потребление $O_2$ на 1 кг веса, мл** | 24,0 | 23,6 | 23,7 |

Анализ этих данных выявляет четкую тенденцию к повышению функциональных возможностей дыхательной и сердечно-сосудистой систем, установление нового функционального уровня, характеризующегося экономизацией энергопроцессов и тренированностью сердечно-сосудистой системы. Указанные изменения оставались к 45 дню процесса реакклиматизации.

При клинико-физиологических обследованиях, проведенных после 30-дневных тренировок, было отмечено также улучшение показателей неспецифической иммунореактивности, статистически достоверное возрастание пропердина крови, увеличение показателей фагоцитарной емкости

Таблица 3. **Изменение показателей пульса и артериального давления (АД) при велоэргометрии**

| Показатель | АД макс. | АД мин. | Частота пульса | АД макс. | АД мин. | Частота пульса | АД макс. | АД мин. | Частота пульса |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **До сбора** | | | **Сразу после сбора** | | | **Через 45 дней после сбора** | | |
| **Фон** | 117,5 | 76,3 | 64,1 | 115,5 | 77,2 | 61,3 | 114,4 | 74,2 | 62,4 |
| **На 5-й мин. работы** | 170,8 | 88,9 | 128,7 | 165,8 | 87,5 | 122,3 | 164,4 | 87,2 | 124,3 |
| **Время восстановления** | 6,0 | — | 19,3 | 5,3 | — | 15,5 | 5,5 | — | 14,8 |

крови, увеличение бактериологической активности слюны ($P<0,01$), что свидетельствует о повышении общей резистентности организма.

Совокупность факторов окружающей среды при подготовке в горах (высота, непривычные условия обитания, иная организация пространственного поля, работа в составе малых групп, в условиях автономного проживания, трудные метеорологические условия во время восхождения) создавала определенные трудности психологического порядка. Психологические наблюдения за поведением кандидатов в космонавты позволили выявить динамические свойства личности и особенности поведения их в необычных условиях.

Подготовка в горах является хорошей проверкой волевых особенностей кандидатов. Включение в программу подготовки космонавтов высокогорных тренировок оправданно.

Комплексная оценка эффективности сборов по подводному плаванию позволила отметить определенное положительное влияние и этого вида подготовки. Увеличились показатели статической выносливости (на 14,9%), силовой выносливости (на 30%), общей выносливости (на 19%). Комплексное исследование сердечно-сосудистой и дыхательной систем во время дозированной велоэргометрии свидетельствовало о повышении функциональных возможностей организма (уменьшение синусовой тахикардии на 5-й мин. работы, повышение минутного объема дыхания, снижение кислородного запроса и др.) (см. ниже).

| | До подводной подготовки | После подводной подготовки |
|---|---|---|
| **Минутный объем дыхания (покой), л/мин** | 8,9 | 9,4 |
| **$O_2$ (запрос), мл** | 7227 | 7183 |
| **$O_2$ (долг), мл** | 1814 | 1729 |
| **Потребление $O_2$ за 1 мин. работы, мл** | 1547 | 1533 |
| **КПД, %** | 28,1 | 28,7 |

Ошибка восприятия пространственных координат у участников сбора уменьшалась с 1,1° до 0,2°. В контрольной группе, проживающей в аналогичных условиях, но не участвующей в погружениях, изменений этого показателя не было отмечено.



Результаты медицинского контроля при парашютной, летной и других видах подготовки выражались в колебании артериального давления в пределах 5—10 мм рт. ст. и обычно не превышали границ возрастной нормы. При первых прыжках у отдельных кандидатов артериальное давление достигало 150/95—140/90 мм рт. ст., а частота пульса — 86—92 ударов в минуту.

Этот вид подготовки сопровождался определенным эмоциональным напряжением, что прослеживалось в изменении уровня пропердина крови. Так, например, в среднем по группе до начала летной и парашютной подготовок этот показатель равнялся 17,5 единицы, а после ее завершения снизился до 1,8. Аналогичные изменения были отмечены для лизоцимной активности слюны.

Анализ данных медицинского контроля за космонавтами-исследователями гражданских ведомств при выполнении полетов показал, что, несмотря на различные отклонения в состоянии здоровья и особенности, отмеченные при отборе, все космонавты хорошо справились с нагрузкой на заключительном этапе подготовки в составе экипажей и выполнили полетные программы.

Отдельным направлением медико-биологической подготовки как на первом этапе, так и на заключительном этапе подготовки в полете является контроль за состоянием здоровья космонавтов для обеспечения его сохранности, высокой профессиональной работоспособности. При проведении такого контроля необходимо:

Выявить скрытые и начальные формы заболеваний для принятия решений при допуске к специальным тренировкам и испытаниям, а также для своевременного проведения лечебно-профилактических мероприятий.

Разрабатывать рекомендации по срокам и последовательности проведения тренировок и испытаний, а также мероприятий, повышающих устойчивость организма.

Изучать причины травм и заболеваний, связанных с профессиональной деятельностью.

Контролировать режим труда, отдыха и питания космонавтов на всех этапах их подготовки, а также до, во время и после космического полета.

Наблюдать за физическим развитием и физической подготовкой космонавтов.

Проводить медицинские осмотры при допуске к различным видам тренировок.

Проводить углубленные квартальные медицинские обследования.

Вести клинико-физиологические обследования перед космическим полетом и после его завершения.

Осуществлять врачебный осмотр на месте приземления и на путях эвакуации к месту послеполетного обследования.

* * * * *

Система, по которой проводился отбор космонавтов для кораблей серии «Союз», оказалась в достаточной мере адекватной условиям полета и позволила прогнозировать надежность экипажей при выполнении полетной программы. Учитывая особенности решаемых задач при полете на кораблях серии «Союз», отбор, в отличие от отбора первых космонавтов, про-

ходил из числа научных сотрудников, как правило, людей, имеющих возрастные особенности, обусловливающие те или иные отклонения в состоянии здоровья, а также недостаточный уровень физической подготовленности.

Программа обследования и используемые при отборе методы в основном не имели существенных различий с отбором летчиков-космонавтов. Различия состояли лишь в трактовке полученных данных, имеющих целью сохранить необходимого кандидата. С целью повышения функциональных резервов организма в процессе отбора и подготовки проводились оздоровительные мероприятия (отдых в санаторных условиях, тонзилэктомия и т. д.).

Как показали данные реальных космических полетов, используемые методы санации были эффективны и система отбора себя оправдала. Полученные данные в ходе реальных космических полетов на кораблях серии «Союз», а также результаты экспериментальных исследований по изучению влияния факторов космического полета на организм человека расширили наши знания о характере функционирования отдельных физиологических систем под влиянием невесомости, выявили наиболее ранимые системы, некоторые механизмы наблюдаемых изменений. Эти данные явились основанием для совершенствования системы отбора и подготовки и включения в практику отбора дополнительных методов исследования, позволяющих более глубоко выявить резервные возможности организма, обеспечивающие быструю и надежную адаптацию к более длительным стрессовым воздействиям, обосновали необходимость разработки психофизиологических методов с целью совершенствования системы экспертных оценок.

В основу подготовки космонавтов на кораблях серии «Союз» положена программа, использованная при подготовке на кораблях «Восток», «Восход», а также на кораблях «Меркурий» и «Джемини».

Участие в космических полетах космонавтов-исследователей, отобранных из числа научных сотрудников и инженеров, имеющих недостаточный уровень физической подготовленности и вестибулярной устойчивости, потребовало несколько иного подхода к построению медико-биологической подготовки этой категории кандидатов. В схему организационно-методического построения подготовки был введен начальный этап подготовки без отрыва кандидата от основной профессиональной деятельности. Главной задачей этого этапа было повышение неспецифической резистентности организма к реальным неблагоприятным воздействиям внешней среды, применительно к условиям космического полета. Длительность этого этапа варьировала от 3—5 месяцев до 2,5 лет. При зачислении кандидатов в конкретный экипаж подготовка космонавтов-исследователей проходила по общей программе подготовки космонавтов.

Анализ данных медицинского контроля за космонавтами на всех этапах подготовки и при выполнении космических полетов на кораблях серии «Союз» свидетельствует о правильности такого подхода.

Вместе с тем практика обеспечения космических полетов показала необходимость непрерывного изменения и совершенствования методов подготовки в зависимости от программы, численности экипажа и длительности полета.

# Глава 3. ФИЗИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## ФИЗИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ В НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

По своему назначению космические объекты «Союз» выполняли следующие функции:

Многоместных орбитальных космических кораблей для одиночных полетов продолжительностью от трех до семи суток.

Многоместных космических кораблей для групповых полетов с отработкой элементов их сближения, стыковки и дальнейшего полета в составе единого орбитального комплекса.

Многоместных космических кораблей для длительных (до 20 суток) орбитальных полетов и детального исследования влияния факторов полета на организм человека.

Транспортных кораблей, обеспечивающих доставку экипажа на долговременные орбитальные станции, совместный полет и возвращение на Землю.

Как известно, каждому космическому полету предшествовали наземные испытания, проводящиеся в макетах кораблей, в которых функционировали системы жизнеобеспечения, создающие условия для нормальной жизнедеятельности членов экипажа во время полета.

Для решения основных задач наземных испытаний была создана экспериментальная база, обеспечивающая проведение врачебно-физиологических и санитарно-гигиенических исследований, а также контроль за системой жизнеобеспечения (СЖО).

При проведении испытаний использовались современные медико-технические и физиолого-гигиенические методы исследования и оценки СЖО, среды обитания, состояния и работоспособности членов экипажа.

Наземные испытания 1966—1967 гг. проводились с целью комплексной оценки и проверки работоспособности СЖО, среды обитания и функциональных возможностей человека в условиях, имитирующих различные варианты полета двух кораблей «Союз», их стыковки, перехода экипажа из «пассивного» в «активный» корабль.

В соответствии с программой минимальное время имитации полета «активного» корабля колебалось от 29 до 53 час. (экипаж из одного человека), а «пассивного» (с экипажем из трех человек) до трех суток.

Было проведено шесть экспериментов до полного использования ресурса системы обеспечения газового состава, причем максимальное время эксперимента составляло от 82 до 118 час. Другие системы жизнеобеспечения полностью обеспечили потребности экипажа в воде, пище и средствах личной гигиены.

Таблица 4. **Характеристика среды обитания в макете космического корабля и некоторые показатели обмена испытателей**

| Показатель | 1968 г. | | | | 1969 г. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 9—19.VIII | 23—27.VIII | 30.VIII—10.IX | 17—27.IX | 15—20.XII | 27.VI—4.VII | 24—30.VII |
| **Продолжительность испытаний, часы** | 233 | 86 | 254 | 229 | 119 | 165 | 149 |
| **Численность экипажа, человек** | 1 | 3 | 1 | 3—2 | 3 | 2 | 3 |
| **Абсолютное давление, мм рт. ст.** | 687÷853 | 722÷864 | 707÷835 | 711÷833 | 737÷830 | 716÷840 | 753÷847 |
| **Парциальное давление, мм рт. ст.** | | | | | | | |
| кислорода | 121÷256 | 104÷244 | 128÷250 | 101÷224 | 108÷115 | 110÷233 | 150÷232 |
| углекислого газа | 1,12÷8,16 | 2,56÷2,8 | 3,0÷12,1 | 2,02÷8,7 (СА); 1,6÷13,6 (БО) | 1,5÷19,0 | 2,4÷19,7 | 2,0±20,2 |
| **Температура воздуха, °С** | 20÷27 | 21,5÷37,5 | 18,0÷22,5 | 18,0÷25,5 (СА) | 17÷25,0 (СА) 15,5÷30,0 (БО) | 15÷24 (СА); 18,5÷30,5 (БО) | 19—27,0 (СА); 21÷29,0 (БО) |
| **Относительная влажность, %** | 30÷67 | 52÷65 | 45÷66 | 39÷62 | 39÷69 | 46÷68 | 48÷70 |
| **Содержание вредных примесей, мг/м³** | | | | | | | |
| окись углерода | До 2,5 | 0 | До 2,5 | 0÷2,5 | 0 | 0÷1,0 | 0 |
| аммиак | До 0,4 | До 0,8 | 0÷0,8 | 0÷0,8 | 0÷0,7 | 0,1÷0,4 | 0,1÷0,4 |
| кетоны (ацетон) | До 1,3 | До 1,75 | До 1 | 0÷2,0 | 0,25÷1,25 | 0,25÷1,25 | 0÷0,75 |
| альдегиды (сумма) | До 0,1 | До 0,2 | До 0,1 | 0÷0,24 | — | Следы до 0,2 | 0÷0,2 |
| сероводород | До 0,2 | 9 | До 0,2 | — | 0 | 0 | 0 |
| жирные кислоты | — | — | — | — | — | 0,21 | 0 |
| **Окисляемость, мг $O_2$/м³** | До 132 | — | До 132 | — | До 96 | 60÷132 | 60÷96 |
| **Запыленность, мг/м³** | 0,48÷3,47 | 1,1÷4,4 | 0,48÷3,47 | 6÷7 (СА) 1,4÷1,5 (БО) | 6,0; при одевании скафандра до 29 | 1,43÷4,75 | 0,96÷3,36 |
| **Бактериальная обсемененность 1 м³** | — | — | — | — | — | — | 80÷140 |
| **Интенсивность шума, дб** | | | | | | | |
| общий уровень | — | 63÷68 | — | — | — | — | 59÷65 |

Таблица 4 (окончание)

| Показатель | 1968 г. | | | | 1969 г. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 9—19.VIII | 23—27.VIII | 30.VIII—10.IX | 17—27.IX | 15—20.XII | 27.VI—4.VII | 24—30.VII |
| 150 гц | 44÷60 | 45÷54 | 44÷55 | 50 | 42÷60 | 34÷64 | 39÷44 |
| 600 гц | 50÷55 | 48÷53 | 49÷57 | 58 | 49÷54 | 30÷62 | 41÷43 |
| 1000 гц | 51÷62 | 51÷59 | 52÷61 | 58 | 53÷59 | 38÷54 | 38÷40 |
| 2000 гц | 43÷58 | 44÷57 | 55÷62 | 55 | 48÷58 | 36÷44 | 39÷40 |
| **Потребление кислорода одним испытателем, нл/час** | | | | | | | |
| по химическому анализу | 22,3 | 20,5 | 19,5 | 19,8 | 23,4 | 21,6 | 24,9 |
| по газообмену | 17,2 | 20,3 | — | — | 18,4 | 21,3 | 24,4 |
| **Выделение углекислого газа одним испытателем, нл/час** | | | | | | | |
| по химическому анализу | 16,8 | 14,2 | 13,3 | 13,9 | 17,1 | 15,85 | 18,9 |
| по газообмену | 14,0 | 17,2 | — | — | 13,75 | 16,4 | 18,7 |
| **Среднесуточные энерготраты, ккал** | 1986,8 | 2366,9 | 2178,1 | 2223 | 2092,7 | 2436,0 | 2782,8 |
| **Калорийность суточного рациона, ккал** | 2613 | 2613 | 2613 | 2613 | 2613 | 2527,8 | 2586,0 |
| **Общее количество выпитой воды, л** | 11,000 | 14,750 | 12,000 | 14,500 | 16,000 | 16,000 | 18,000 |
| **Среднесуточное водопотребление, л/чел** | 1,397 | 1,368 | 1,397 | 1,948 | 1,731 | 1,520 | 1,320 |
| **Общее количество выделенной воды и конденсата, л** | 9,000 | 8,300 | 9,000 | 12,975 | 14,300 | 13,450 | 27,000 |
| **Среднесуточное выделение мочи и конденсата, л/чел** | 0,947 | 0,768 | 0,947 | — | 0,950 | 1,000 | 1,500 |

Примечание. Здесь и в табл. 5—7 СА — спускаемый аппарат, БО — бытовой отсек.

В период 1968—1969 гг. продолжались наземные испытания систем жизнеобеспечения в макетах кораблей типа «Союз» по программе полета «активного» и «пассивного» кораблей.

При этом необходимо было оценить системы регенерации атмосферы, водообеспечения и питания, ассенизации, газоанализаторы, аппаратуру медицинского контроля, комплект полетной одежды, комплект личной гигиены, агрегаты системы терморегулирования для поддержания температуры и влажности воздуха.

С этой целью было проведено семь испытаний длительностью от трех суток 14 час. до 10 суток 14 час. с участием 15 испытателей.

Из данных табл. 4 видно, что изменения основных параметров, характеризующие микроклимат и среду обитания в макете корабля, во всех испытаниях не выходили за пределы общепринятых физиологических норм и в основном соответствовали требованиям испытаний.

Испытания продолжались до полного использования ресурса систем регенерации атмосферы.

Исследование уровня шума на частотах от 150 до 200 гц выявило соответствие этого показателя санитарно-гигиеническим нормам.

Уровень запыленности воздуха повышался по сравнению с предельными концентрациями примерно в 1,5—2 раза (особенно при надевании скафандра).

По данным химического анализа регенеративного вещества, проведенного после испытаний, потребление $O_2$ испытателями не превышало 25 нл/час.

Калорийность суточного рациона полностью покрывала энерготраты испытателей. Система водообеспечения совместно с системой питания обеспечили потребности испытателей в воде, а система ассенизации — сбор и хранение твердых и жидких отходов.

Проведенные исследования показали, что комплекс систем жизнеобеспечения оказался достаточно надежным для поддержания на заданном уровне основных параметров микроклимата и среды обитания в течение всего периода испытаний.

В 1970 г. были проведены три испытания длительностью от 20 до 24,5 суток с участием шести испытателей, для того чтобы дать оценку системы регенерации воздуха с дополнительным поглотителем углекислоты, системы терморегулирования со сборниками конденсата, газоанализаторов, системы водообеспечения и питания с подогревом, комплекта полетной одежды, средств личной гигиены, системы ассенизации.

Основные показатели, характеризующие работу СЖО и среду обитания в макете, представлены в табл. 5. Из данных табл. 5 видно, что абсолютное давление, парциональное давление $O_2$, температура и относительная влажность воздуха во время испытаний изменялись в заданных пределах. Однако парциальное давление $CO_2$ во время физических упражнений и нагрузочных функциональных проб увеличивалось до 19,9 мм рт. ст.

Для устранения подобного недостатка были проведены доработки системы регенерации (увеличили расход воздуха в системе во втором эксперименте и ввели дополнительный поглотитель $CO_2$ в третьем эксперименте), что обеспечило снижение парциального давления $CO_2$ в макете до 14,4 и 12,2 мм рт. ст. соответственно.



Таблица 5. **Показатели среды обитания и метаболизма (вариант полета, 1970 г.)**

| Показатель | 10.I—2.II | 12.II—5.III | 11.IV—6.V |
|---|---|---|---|
| **Продолжительность испытаний, часы** | 556 | 485 | 586 |
| **Численность экипажа, человек** | 2 | 2 | 2 |
| **Абсолютное давление, мм рт. ст.** | 738÷827 (СА)<br>744÷827 (БО) | 758÷855 (СА)<br>758,2÷855 (БО) | 770÷868 |
| **Парциальное давление, мм рт. ст.** | | | |
| кислорода | 129,5÷233 (СА)<br>154,6÷234 (БО) | 157÷292 (СА)<br>156÷292 (БО) | 152÷268 |
| углекислого газа | 1,61÷19,9 (СА)<br>1,8÷15,0 (БО) | 3,4÷14,41 (СА) | 0,6÷12,2 |
| **Температура воздуха, °С** | 16,9÷23,9 (СА)<br>17,9÷35,1 (БО) | 16,6÷22,2 (СА)<br>19,3÷24,98 (БО) | 16,8÷22,2<br>19,3÷25,0 |
| **Относительная влажность, %** | 38÷58 (СА)<br>34÷56 (БО) | 42—79 | 34÷58 (СА)<br>30÷53 (БО) |
| **Содержание вредных примесей, мг/м³** | | | |
| окись углерода | 1,0 | 0 | 0÷2,0 |
| аммиак | 0,1±0,6 | 0,2±0,6 | 0,15÷0,6 |
| кетоны (ацетон) | 0,5÷2,0 | 1,0÷1,5 | 0,5÷1,5 |
| альдегиды (сумма) | Следы | 0÷0,2 | 0÷0,5 |
| сероводород | 0 | 0 | 0 |
| жирные кислоты | 0,41 | 0,2÷0,41 | 2,0÷2,8 |
| **Окисляемость, мл $O_2$/м³** | 24÷84 | 42÷84 | 36÷84 |
| **Запыленность, мг/м³** | 1,5÷19,5 (СА)<br>1,0÷13,6 (БО) | 0,5÷11 (СА)<br>0,3÷12 (БО) | 0,9÷6,7 (СА)<br>1,0÷5,9 (БО) |
| **Бактериальная обсемененность 1 м³** | 320÷7500 | 315÷1830 | 20÷1200 |
| **Уровни шума, дб** | | | |
| 150 гц | 68÷53 | 46÷59 | 49÷56 |
| 600 гц | 59÷43 | 50÷57 | 50÷54 |
| 1000 гц | 58÷35 | 50÷59 | 54÷56 |
| 2000 гц | 54÷33 | 45÷50 | 48÷54 |
| **Потребление кислорода одним испытателем, нл/час** | | | |
| по химическому анализу | 22,5 | 25,6 | 21,9 |
| по газообмену | — | 24,2 | 20,0 |
| **Выделение углекислого газа одним испытателем, нл/час** | | | |
| по химическому анализу | 17,95 | 20,5 | 17,5 |
| по газообмену | — | 19,9 | 16,2 |
| **Среднесуточные энерготраты, ккал** | 2592 | 2950 | 2522 |
| **Калорийность суточного рациона, ккал** | 2690 | 2784 | 2785 |
| **Общее количество выпитой воды, л** | 64,6 | 68,05 | 67,1 |
| **Среднесуточное водопотребление, л** | | | |
| питьевая вода | 1,4 | 1,68 | 1,37 |
| общее количество жидкости | 2,280 | 2,891 | 1,898 |

Таблица 5 (окончание)

| Показатель | 10.I—2.II | 12.II—5.III | 11.IV—6.V |
|---|---|---|---|
| **Общее количество, л** | | | |
| собранной мочи | 54,7 | 42,0 | 52,820 |
| конденсата | 42,595 | 47,7 | 42,2 |
| **Среднесуточное выделение, л** | | | |
| мочи | 1,189 | 1,050 | 1,100 |
| конденсата | 0,926 | 1,192 | 0,880 |

Во всех длительных испытаниях наблюдалось некоторое повышение бактериальной обсемененности и запыленности воздуха в макете. Это связано, по-видимому, с повышением двигательной активности испытателей в макете.

Остальные санитарно-гигиенические показатели среды обитания (содержание вредных примесей, уровень шума) оставались в пределах нормы.

Относительно высокий уровень потребления кислорода каждым испытателем (22,0—25,6 нл/час) и выделения $CO_2$ (17,5—20,5 нл/час) явился следствием большой насыщенности рабочей программы. Это подтвердилось и высокими энерготратами испытателей (2522—2950 ккал/сутки), которые во втором эксперименте оказались выше фактической калорийности суточного бортового рациона питания.

Потребности в питьевой воде удовлетворялись полностью.

Таким образом, проверенный в длительных наземных испытаниях комплекс СЖО в целом получил положительную оценку, однако были выявлены отдельные недостатки в работе некоторых систем, потребовавшие доработок до начала космического полета.

Наземные испытания в макете транспортного корабля «Союз» проводились 6—12 июля 1972 г. с участием двух испытателей (см. ниже). Общее время испытаний — 130 час., причем суммарное время пребывания испытателей в скафандрах составило 37 час. В процессе испытаний четыре раза проводилась проверка скафандров на герметичность, что оказывало влияние на состав атмосферы в кабине.

Кратковременное повышение температуры воздуха в бытовом отсеке до 32,8° было связано с выполнением испытателями наиболее нагруженной по режиму программы полета. Бактериальная обсемененность, запыленность воздуха и уровень шумов не превышали допустимых величин.

Особое внимание в проведенных испытаниях уделялось оценке общего состояния и работоспособности испытателей при пребывании в скафандрах. Одевание скафандров являлось наиболее трудоемкой операцией, о чем свидетельствуют значительные энерготраты (300—253 ккал/час), высокий уровень потребления кислорода (до 60 нл/час) и повышение средневзвешенной температуры кожи (до 35,8°).

Также и большая насыщенность рабочей программы вызвала увеличение среднесуточного потребления кислорода, выделения углекислоты и уровня среднесуточных энерготрат.



| | |
|---|---|
| **Продолжительность испытаний, часы** | |
| по программе | 105 |
| фактическая | 130 |
| **Численность экипажа, человек** | 2 |
| **Общее давление, мм рт. ст.** | 756—990 |
| **Парциальное давление, мм рт. ст.** | |
| кислорода | 155÷302 |
| углекислого газа | 0,9÷20,0 |
| **Температура воздуха, °С** | |
| СА | 18÷27,6 |
| БО | 19,7÷32,8 |
| **Относительная влажность воздуха, %** | 46÷82 |
| **Содержание вредных примесей, мг/л** | |
| окись углерода | 0 |
| аммиак | 0,0002 |
| ацетон | 0,0015 |
| углеводороды в пересчете на углерод | 0,0006 |
| альдегиды (сумма) | 0,0001 |
| сероводород | 0 |
| жирные кислоты | 0,0005 |
| **Запыленность, мг/м$^3$** | 0,5÷1,7 |
| **Бактериальная обсемененность 1 м$^3$** | 200 |
| **Интенсивность шума, дб** | |
| общий уровень | 67÷84 |
| 125 гц | 55÷57 |
| 500 гц | 58÷72 |
| 1000 гц | 58÷86 |
| 2000 гц | 54÷73 |
| **Потребление кислорода одним испытателем, нл/час** | |
| по химическому анализу | 25,7 |
| по газообмену | 24,7 |
| **Выделение углекислого газа одним испытателем, нл/час** | |
| по химическому анализу | 20,6 |
| по газообмену | 20,4 |
| **Среднесуточные энерготраты, ккал/сутки** | 2860 |
| **Калорийность суточного рациона, ккал** | 2900 |
| **Общее количество выпитой воды, л** | 13,450 |
| **Среднесуточное водопотребление, л** | |
| питьевой воды | 1,222 |
| общее количество жидкости | 2,287 |
| **Общее количество выделенной мочи и конденсата, л** | 21,080 |
| **Среднесуточное выделение мочи и конденсата, л** | 1,916 |

Несмотря на это, общее состояние и работоспособность испытателей в скафандрах были удовлетворительными, что обеспечило выполнение всей программы испытаний.

В результате проведенных испытаний был сделан основной вывод о том, что система регенерации воздуха в комплексе с системами обеспече-

ния жизнедеятельности позволяет поддерживать в макете необходимые условия в соответствии с допустимыми величинами.

В процессе полета кораблей типа «Союз» производилась регистрация основных показателей состояния микроклимата объектов.

Результаты измерений таких показателей, как абсолютное давление, температура, влажность воздуха, парциальное давление кислорода и углекислого газа в спускаемом аппарате и бытовом отсеке, приводятся в табл. 6.

Как видно из приведенных в табл. 6 данных, диапазоны изменений основных параметров микроклимата космических кораблей «Союз» соответствуют величинам, имевшим место в наземных испытаниях в макетах кораблей.

Как в полете, так и в наземных испытаниях системы жизнеобеспечения, ответственные за создание нормальных условий микроклимата в объекте, поддерживали оптимальные уровни температуры, влажности,

Таблица 6. **Характеристика микроклимата космических кораблей «Союз»**

| Корабль | Продолжительность полета, сутки | $P_{абс}$, мм рт. ст. | $PO_2$, мм рт. ст. | $PCO_2$, мм рт. ст. |
|---|---|---|---|---|
| «Союз-3» | 4 | 752÷850 (СА)<br>715÷825 (БО) | 177÷284 (СА) | 0÷3,2 (СА) |
| «Союз-4» | 3 | 748÷820 (СА)<br>730÷813 (БО) | 157÷194 (СА) | 0,5÷8,7 (СА) |
| «Союз-5» | 3 | 756÷838 (СА) | 168÷244 (СА) | 0,1÷9,2 (СА) |
| «Союз-6» | 5 | 720÷867 (СА) | 174÷229 (СА) | 1,5÷15,1 (СА) |
| «Союз-7» | 5 | 760÷875 (СА) | 160÷223 (СА) | 1,6÷12,0 (СА) |
| «Союз-8» | 5 | 720÷825 (СА) | 184÷237 (СА) | 1,1÷15,0 (СА) |
| «Союз-9» | 18 | 732÷890 (СА)<br>738÷890 (БО) | 157÷285 (СА)<br>168÷308 (БО) | 1,3÷10,7 (СА)<br>2,0÷12,0 (БО) |

| Корабль | Продолжительность полета, сутки | Влажность, % | Температура, °C |
|---|---|---|---|
| «Союз-3» | 4 | — | 18,0÷25,0 (СА)<br>12,0÷23,0 (БО) |
| «Союз-4» | 3 | 17,5—51,4 (СА) | 18÷22,0 (СА)<br>15,5÷22,0 (БО) |
| «Союз-5» | 3 | 19,0—62,0 (СА) | 15,0÷22,0 (СА)<br>15,0÷21,5 (БО) |
| «Союз-6» | 5 | 41÷61 (СА) | 16,5÷23,5 (СА) |
| «Союз-7» | 5 | 30÷61 (СА) | 18÷21,4 (СА) |
| «Союз-8» | 5 | 25÷58 (СА) | 17,3÷26,1 (СА) |
| «Союз-9» | 18 | 50÷75 (СА)<br>46÷82 (БО) | 17÷28 (СА<br>20÷29 (БО) |



давления воздуха, парциального давления кислорода и углекислого газа, причем пределы изменений абсолютных значений указанных показателей были идентичными.

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА ВО ВРЕМЯ ПРЕБЫВАНИЯ В МАКЕТАХ КОРАБЛЕЙ СЕРИИ «СОЮЗ»

Одной из задач проведения комплексных испытаний СЖО различных кораблей серии «Союз» являлась физиолого-гигиеническая оценка условий, создаваемых в жилых отсеках. При комплексных испытаниях СЖО испытатель подвергается воздействию различных факторов: повышенной температуры среды, измененного атмосферного давления, измененной газовой среды, его мышечная деятельность значительно ограничивается и т. д. Действие на организм человека каждого из перечисленных факторов в отдельности хорошо известно. Значительно менее изучен вопрос о функциональных изменениях в организме человека при сочетанном воздействии перечисленных факторов и их роли в возникновении тех или иных физиологических сдвигов в организме. Организация испытаний СЖО кораблей серии «Союз» предусматривала создание условий, максимально приближенных к условиям космического полета. Поэтому проводимые исследования могут быть использованы при изучении влияния на организм человека факторов космического полета, которые невозможно моделировать в наземных условиях (невесомость, эмоциональный стресс и т. д.). Выявив функциональные изменения в организме, возникшие при воздействии комплекса факторов жилого отсека корабля «Союз», можно отдифференцировать функциональные изменения, вызванные воздействием невесомости.

Нами проанализированы результаты испытаний систем жизнеобеспечения космических кораблей типа «Союз» в период 1966—1972 гг. Всего было проведено 21 испытание с участием 50 человек.

Испытания условно можно разделить на три серии. В 1-ю серию были включены испытания, в которых имитировался полет «активного» или «пассивного» корабля с 1—3 человеками на борту. Длительность этих испытаний превышала длительность, намеченную полетной программой, и составляла от 3,5 до 10,5 суток. В этой серии всего было проведено 17 испытаний с участием 42 испытателей.

Ко 2-й серии были отнесены испытания, в которых имитировался длительный орбитальный полет. Продолжительность этих испытаний превышала намеченную полетной программой и достигала 20—25 суток. Было проведено три эксперимента с участием шести испытателей.

В 3-й серии испытаний имитировался полет транспортного корабля для доставки экипажа на орбитальную станцию. Было проведено одно испытание длительностью 7,5 суток с участием двух человек. Поскольку условия этого испытания, его длительность практически были теми же, что и в 1-й серии, полученные материалы были объединены.

Исследования функционального состояния испытателей проводились за 2—4 суток до начала испытаний и на первые сутки после испытаний, кроме пробы с дозированной физической нагрузкой на велоэргометре, которая проводилась на вторые сутки после испытаний.

Были применены следующие методики. Для характеристики деятельности сердца регистрировалась электрокардиограмма в 12 отведениях и поликардиограмма (одновременная регистрация электрокардиограммы, фонокардиограммы, сфигмограммы сонной артерии), рассчитывались ударный и минутный объем крови по Вецлеру и Богеру. Расшифровка поликардиограммы проводилась по методу Блюмбергера в модификации В. Л. Карпмана (1965). Для характеристики состояния сосудистой системы (артериального и венозного русла) определялась скорость распространения пульсовой волны по семи сосудистым участкам тела, измерялась температура кожи пяти участков тела (лоб, грудь, тыл кисти и стопы, голень), проводилась окклюзионная плетизмография пальца руки, ноги, орбиты глаза, плетизмометрия стопы и двух третей голени, исследовалась капилляроскопическая картина ногтевой складки пальца руки и ноги, определялась ломкость капилляров. Регистрация перечисленных показателей состояния сердечно-сосудистой системы проводилась у испытателей как в покое, так и при 20-минутной пассивной ортостатической пробе, кроме записи электрокардиограммы в 12 отведениях и плетизмограммы, которые регистрировались лишь в состоянии покоя. До и после испытаний применялась дозированная физическая нагрузка на велоэргометре. Работа мощностью 1200 кгм/мин выполнялась в течение 5 мин., после чего изучался на протяжении 5 мин. восстановительный период.

Для характеристики состояния в этот период центральной нервной системы записывалась электроэнцефалограмма с восьми симметричных участков головы в покое и при ритмичном раздражении зрительного анализатора прерывистым светом. Определялся порог электрической возбудимости глаза. Кроме того, исследовалась вязкость и свертываемость крови, определялся гематокрит, общий белок крови, концентрация в крови кальция, молочной кислоты, хлоридов.

В период испытаний определялся баланс водного обмена путем учета выпитой жидкости и выделенной влаги с мочой и конденсатом. Через каждые 3 часа регистрировались электрокардиограмма в отведении DS, сейсмокардиограмма и пневмограмма у испытателей, находившихся в состоянии покоя, а также при выполнении ими некоторых рабочих операций. Перед и после сна испытатели измеряли сами у себя артериальное давление по методу Короткова.

При одевании скафандра и имитации выхода в космос для наблюдений использовался пульт медицинского контроля (ПМК), при помощи которого регистрировали частоту пульса и ректальную температуру тела.

Во всех сериях испытаний общее состояние испытателей было удовлетворительным. Жалоб на здоровье они не предъявляли. В ряде случаев испытатели вначале отмечали трудности привыкания к измененному режиму труда и отдыха, жаловались, что им трудно засыпать и просыпаться.

Во время испытаний основные показатели кровообращения — частота пульса и дыхания, величина артериального давления не выходили за пределы физиологической нормы. Однако начиная со вторых — третьих суток у большинства испытателей частота сердечных сокращений прогрессивно замедлялась (в среднем на 8—10 уд/мин). У некоторых испытателей во время сна частота сердечных сокращений достигала 40 уд/мин и ниже, а среднесуточные значения были около 48—50 уд/мин. Перед окончанием испытаний, как правило, частота пульса несколько возрастала, но не достигала уровня первого дня. Очевидно, что увеличение частоты пульса в последние сутки испытаний можно объяснить эмоциональным фактором, связанным с приближением окончания испытаний.



Причина замедления частоты сердечных сокращений в период испытаний не ясна. Это явление нельзя объяснить снижением мышечной деятельности, вызванным пребыванием в гермокамере, поскольку при ограничении мышечной деятельности условиями водной иммерсии или постельного режима частота сердечных сокращений существенно не изменялась. При этом в условиях водной иммерсии и постельного режима среднесуточные значения частоты пульса были выше, чем в гермокамере, а именно: около 60 уд/мин.

Аналогичные изменения частоты пульса и дыхания, артериального давления наблюдались у космонавтов во время космических полетов на кораблях «Союз». В частности, Е. И. Воробьев и соавт. (1970а, б), А. А. Бутусов и соавт. (1970) отметили, что у космонавтов А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова во время 18-суточного полета корабля «Союз-9» величина артериального давления и частота дыхания существенно не изменялись. Авторы наблюдали после первоначального увеличения в начале полета урежение частоты пульса в последующие две трети периода полета и объясняют это влиянием невесомости.

Однако на основании данных, приведенных в настоящей работе, можно думать, что урежение частоты пульса во время космического полета не является проявлением специфического действия невесомости. По-видимому, замедление частоты сердечных сокращений в условиях полета вызвано действием комплекса факторов. В конце полета, так же как и перед окончанием испытаний, частота пульса вновь возрастала.

В период длительных испытаний (2-я серия) испытатели два раза в сутки выполняли физические упражнения. По своей интенсивности они соответствовали работе средней тяжести. Интенсивность физических упражнений подбиралась таким образом, чтобы их суммарная энергетическая стоимость не превышала рассчитанную для полета. Энерготраты при выполнении упражнений составляли в среднем 300—400 ккал/час. При этом максимальные значения частоты пульса во время упражнений достигали 160—170 уд/мин. К концу испытаний реакция учащения пульса при выполнении физических упражнений становилась более выраженной.

В период испытаний 2-й серии была применена функциональная проба, которая осуществлялась при помощи ручного амортизатора. Амортизатор своей средней частью помещался за спину, а руки в петлях производили разгибание в темпе один раз в секунду по 10 растягиваний с последующим 5-секундным отдыхом. Всего за пробу такие упражнения проводились трижды. Примерное усилие при растягивании амортизатора в зависимости от длины рук было 15—18 кг. Энерготраты составляли 160—180 ккал/час. Частота пульса при выполнении функциональной пробы возрастала на 140—160% по сравнению с частотой пульса в покое.

Данные электрокардиографии выявили изменения электрической активности сердца после испытаний 1-й серии, в которых физические упражнения не выполнялись. А именно: наблюдался поворот в пределах 12° электрической оси сердца вправо. Снижалась величина зубца Т в стан-

дартных и грудных ($V_{2-6}$) отведениях. Появлялся синдром $Tv_1<Tv_6$. Смещался интервал ST ниже изолинии более чем на 0,5 мм в первом и втором отведениях. Некоторые исследователи (Медведев, 1972) перечисленные изменения электрокардиограммы рассматривают как следствие изменения обменных процессов в мышце миокарда. Применение физических упражнений во время испытаний 2-й серии оказывало благоприятный эффект на состояние миокарда (по данным ЭКГ). Следует отметить, что во время испытаний у некоторых испытателей отмечались единичные экстрасистолы, по-видимому, функционального характера.

Анализ фазовой структуры систолы левого желудочка не выявил существенных изменений в длительности основных показателей хронокардиограммы (см. ниже).

| | До испытаний | После испытаний |
|---|---|---|
| **Сердечный цикл, сек.** | 0,96±0,017 | 0,98±0,027 |
| **Период напряжения, сек.** | 0 109 | 0,110 |
| **Асинхронное сокращение, сек.** | 0,068 | 0,068 |
| **Изометрическое сокращение, сек.** | 0,041 | 0,042 |
| **Период изгнания, сек.** | 0,259±0,002 | 0,254±0,003 |
| **Систола механическая, сек.** | 0,30±0,003 | 0,29±0,002 |
| **Диастола, сек.** | 0,582 | 0,619 |
| **Внутрисистолический показатель, %** | 88 | 87 |
| **Индекс напряжения миокарда, %** | 29,6 | 30,5 |

Также и у космонавтов во время полетов обнаруженные изменения длительности электрической и электромеханической систолы находились в пределах «должных» величин.

Исследования показали, что одной из наиболее напряженных операций во время испытаний являлась подготовка к выходу в «космос» и одевание скафандров.

Суммарную нагрузку при одевании скафандра можно оценить как работу средней тяжести. В этот период частота пульса у испытателей достигала 140—150 уд/мин, ректальная температура тела повышалась до 37,8°. У некоторых испытателей наблюдались явления изменения обменных процессов в миокарде: смещение интервала ST ниже изолинии, уменьшение амплитуды зубца T. После выхода из макета сдвиги в электрокардиограмме исчезали в течение 10 мин.

Водный обмен испытателей был снижен. Общее водопотребление с учетом воды пищевых продуктов и метаболической воды составляло в среднем 1,9±0,5 л/сутки (средняя величина и среднеквадратическое отклонение). Ренальные потери воды были в среднем 1,0±0,2 л/сутки, экстраренальные — около 0,9 л/сутки. Как правило, за период испытаний потери в весе составили 1,6—1,7 кг. Наибольшие потери (до 2,5 кг) отмечены в испытаниях с применением скафандров. Снижение веса в значительной мере было обусловлено влагопотерями, так как на вторые сутки после испытаний происходило частичное (на 30—40%) восстановление веса тела. Наблюдаемое снижение водного обмена во время испытаний обусловлено сложным комплексом факторов. Среди них следует отметить питание сублимированными продуктами и относительное снижение мышечной деятельности.



Уменьшение потерь воды путем диуреза, очевидно, обусловлено, с одной стороны, снижением водного обмена, с другой стороны, температурой окружающей среды, которая зачастую превышала комфортную.

После испытаний наблюдалось укорочение времени свертываемости крови, возрастал гематокрит, увеличивались общий белок крови, концентрация кальция, молочной кислоты, хлоридов в крови. Эти изменения в крови могут быть обусловлены тремя причинами: потерей жидкой части крови, эмоциональным возбуждением в связи с окончанием испытаний, характером питания (сублимированные продукты).

Для характеристики функционального состояния центральной нервной системы до и после испытаний проводилось электроэнцефалографическое исследование (Куколевская, 1969).

Анализ частотных и амплитудных характеристик электроэнцефалограммы, зарегистрированных в состоянии покоя, после испытаний различной продолжительности не выявил резких изменений. В 50% случаев амплитуда ведущего ритма снижалась на 10—15 мкв по всем областям мозга. У некоторых испытателей Е. В. Куколевская наблюдала кратковременные высокочастотные и высокоамплитудные бета-колебания, которые чередовались с дельта- или уреженными альфа-волнами. По мнению автора, эти изменения следует объяснить нарушением корково-подкорковых взаимоотношений в связи с проводимыми испытаниями (неполноценным сном перед окончанием испытаний, повышенной температурой среды и т. п.).

Реактивность нервной системы, оцениваемая по изменению коэффициента синхронизированных ритмов в ответ на раздражение зрительного анализатора прерывистым светом, у всех испытателей возрастала. Коэффициент синхронизированных ритмов возрастал на 4—15% в диапазоне частот от 4 до 30 гц.

С результатами электроэнцефалографических исследований совпадают данные определения электрической возбудимости глаза, которая в большинстве случаев повышалась на 1—5 в.

После окончания испытаний в макетах кораблей «Союз» при измерении в состоянии покоя у испытателей не было выявлено существенных изменений основных показателей кровообращения: частоты пульса, артериального давления, ударного и минутного объема крови. Изменения перечисленных показателей после эксперимента не были статистически достоверны ($P>0,05$). Однако в положении сидя и стоя, так же как и у космонавтов после полета, пульс учащался, ухудшалась реакция на ортостатическую пробу (Молчанов и др., 1970).

20-минутная пассивная ортостатическая проба выявила снижение адаптационных возможностей сердечно-сосудистой системы после экспериментов в макетах кораблей «Союз». Это проявлялось в более значительном увеличении частоты пульса, снижении систолического и пульсового артериального давления. Увеличивалась частота ортостатических коллапсов до 16% вместо 1%, наблюдаемого до участия в экспериментах. Существенных различий в изменении переносимости ортопробы после экспериментов 1-й (3—11 суток) и 2-й (20—25 суток) серий не было выявлено (табл. 7).

Испытания длительностью 20—25 суток проводились в двух вариантах. В первом варианте (с участием двух испытателей) соблюдался обычный

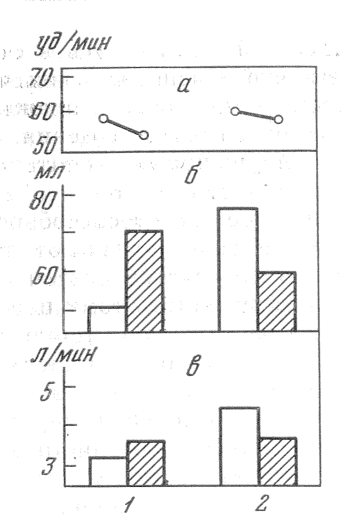
Таблица 7. **Основные показатели кровообращения при ортостатической пробе испытателей до и после испытаний в макетах кораблей «Союз»**

| Показатель | 3—11 суток | | 20—25 суток | |
|---|---|---|---|---|
| | до экспери-мента | после эксперимента | до экспери-мента | после эксперимента |
| **Частота пульса, уд/мин** | | | | |
| до пробы | 65±1,2 | 65±1,2 | 61±1,2 | 59±1,2 |
| во время пробы | 87±1,1 | 96±2,0 | 85±1,2 | 92±1,4 |
| изменение во время пробы | +22 | +31 | +24 | +33 |
| изменение за 1-ю мин. пробы | +21±1,3 | 29±2,0 | +17 | +27 |
| **Систолическое артериальное давление, мм рт. ст.** | | | | |
| до пробы | 118±1,3 | 118±0,9 | 115±1,3 | 112±2,0 |
| во время пробы | 112±1,3 | 107±1,0 | 118±1,5 | 105±1,4 |
| изменение во время пробы | —6 | —11 | +3 | —7,0 |
| изменение за 1-ю мин. пробы | —2 | —8 | —3 | —8,0 |
| **Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст.** | | | | |
| до пробы | 75±1,1 | 75±1,0 | 86±2,1 | 82±1,5 |
| во время пробы | 82±0,9 | 81±1,1 | 93±2,6 | 85±1,6 |
| изменение во время пробы | +7 | +6 | +7 | +3 |
| изменение за 1-ю мин. пробы | +5±1,3 | +6±1,0 | +13 | +7 |
| **Пульсовое артериальное давление, мм рт. ст.** | | | | |
| до пробы | 43 | 43 | 29 | 30 |
| во время пробы | 30 | 26 | 25 | 20 |
| изменение во время пробы | —13 | —17 | —4 | —10 |
| изменение за 1-ю мин. пробы | —8±1,3 | —13±2,0 | —16 | —15 |
| **Ударный объем крови, мл** | | | | |
| до пробы | 71±10,0 | 61±9,0 | 67±8,0 | 63±4,0 |
| во время пробы | 30±3,0 | 25±2,4 | 29±3,5 | 27±3,5 |
| изменение во время пробы | —41 | —36 | —38 | —36 |
| **Минутный объем крови, л/мин** | | | | |
| до пробы | 5,5±0,6 | 5,4±0,6 | 4,3±0,4 | 3,9±0,5 |
| во время пробы | 3,0±0,2 | 2,4±0,3 | 2,5±0,2 | 2,2±0,2 |
| изменение во время пробы | —2,5 | —3,0 | —1,8 | —1,7 |

режим суток. Во втором варианте (с участием четырех испытателей) суточный режим был сдвинут на 7 час. против часовой стрелки в последующем с постепенным уменьшением разницы до 2,5 час.

После испытаний в обоих вариантах частота пульса и артериальное давление существенно не изменялись. Наблюдаемые сдвиги не были статистически достоверны (P>0,05).





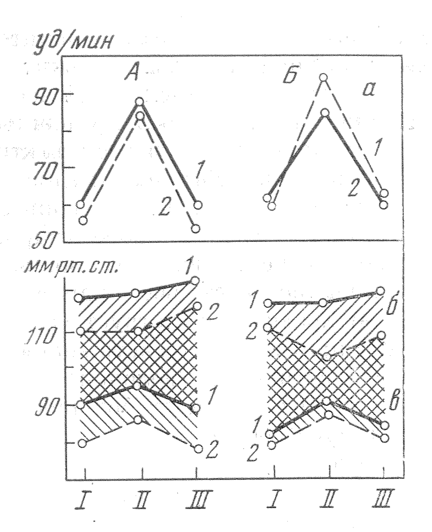




**Рис. 1. Изменение частоты сердечных сокращений (*а*), ударного (*б*) и минутного (*в*) объема крови испытателей после экспериментов с обычным (*1*) и измененным (*2*) режимом суток**

**Рис. 2. Изменение частоты сердечных сокращений (*а*), систолического (*б*) и диастолического (*в*) давления у испытателей при ортостатической пробе до и после экспериментов с обычным (*А*) и измененным (*Б*) режимом суток**

*I* — до;
*II* — во время ортостатической пробы (средние данные за 20 мин.);
*III* — во время клиностатической пробы (средние данные за 5 мин.);
*1* — до эксперимента;
*2* — после эксперимента

После испытаний с неизмененным режимом труда и отдыха несколько увеличивались ударный и минутный объем крови (соответственно на 18 мл и 0,2 л/мин). После испытаний с измененным режимом суток ударный и минутный объем крови уменьшались на 17 мл и 0,8 л/мин (рис. 1).

До испытаний испытателей обеих групп реакция на ортостатическую пробу свидетельствовала о хорошей приспособленности к вертикальному положению тела: частота сердечных сокращений возрастала на 28—25 уд/мин, уровень систолического давления существенно не изменялся, пульсовое давление снижалось на 6—10 мм рт. ст. за счет повышения диастолического давления.

После испытаний с неизмененным режимом суток реакция испытателей на ортостатическую пробу практически не изменилась. Отмечены лишь некоторое учащение ритма сердечных сокращений на 30 уд/мин, снижение систолического давления на 2 мм рт. ст. и уменьшение пульсового давления на 7 мм рт. ст.

После испытаний с измененным режимом суток реакция на ортостатическую пробу характеризовалась более значительными нарушениями: частота сердечных сокращений возросла на 34 уд/мин, систолическое давление понизилось на 10 мм, пульсовое давление — на 15 мм рт. ст. (рис. 2). У одного испытателя на 9-й минуте пробы на фоне резкого снижения частоты сердечных сокращений, синхронного падения систолического и диастолического давления наступил коллапс.

Поскольку условия обоих вариантов испытаний различались в основном режимом труда и отдыха, можно полагать, что изменение привычного суточного режима является одной из основных причин более выраженного снижения адаптационных возможностей системы кровообращения. Этот вывод подкрепляется также субъективными ощущениями испытателей, предъявлявших жалобы на ухудшение самочувствия в связи с изменением суточного режима (бессонница, снижение работоспособности).

При ортостатической пробе гидростатические силы вызывают такое перераспределение крови в различных участках сосудистой системы, которое должно соответствовать направлению силы тяжести. Этому перераспределению крови препятствует сопротивление растяжению стенки сосуда. Сосуды противостоят растяжению не только пассивным возрастанием упругости эластических волокон, но и активным сократительным актом. Активные процессы имеют большее значение, чем пассивная упругость. Наличие тонуса сосудов обеспечивает снижение емкости сосудистого русла и препятствует депонированию крови в нижней части туловища.

Согласно современным представлениям, в основе ухудшения адаптационных возможностей сердечно-сосудистой системы к ортостатической пробе может лежать снижение тонуса артериальных (Hill, 1896; Barcroft et al., 1944; Luft et al., 1963) или венозных (Deitrick et al., 1948; и др.) сосудов нижней части туловища.

Можно предположить, что снижение ортостатической устойчивости после испытаний в макетах кораблей «Союз» обусловлено снижением тонуса артериальных или венозных сосудов. В этой связи до и после испытаний исследовались тонус артериальных и венозных сосудов и капиллярное кровообращение.

Е. В. Куколевская (1969) до и после испытаний изучала капиллярное кровообращение переднего края кожной складки ногтя пальца руки, а также проницаемость капилляров предплечья (проба Нестерова).

После испытаний 1-й серии картина капиллярного кровообращения в основном не менялась так же, как и проницаемость капиллярной стенки. После продолжительных испытаний (20—25 суток) отмечалось утолщение переходных коленец, появление извитости венозных бранш по переднему краю кожной складки. Эти изменения сочетались с разной степенью сужения капилляров вплоть до резкого спазма. При этом при проведении пробы Нестерова было отмечено увеличение проницаемости капилляров (возросло число точечных геммoрагий вплоть до образования сливных петехий).

По мнению Е. В. Куколевской, такие изменения капиллярной сети можно объяснить влиянием суммы факторов, действующих в замкнутом ограниченном объеме (гиподинамия, измененная газовая среда, сублимированные продукты питания) и влекущих за собой изменение гемодинамики и обменных процессов.

В качестве косвенного показателя изменения тонуса артериальных сосудов рассматривались скорость распространения пульсовой волны (СРПВ) по артериям, температура кожи и объемная скорость кровотока при окклюзионной плетизмографии.

СРПВ регистрировалась на семи участках сосудистого русла правой стороны (кроме височной артерии): сонная артерия — орбита глаза, сердце — лучевая артерия, лучевая артерия — артерия четвертого пальца руки, сердце — бедренная артерия, бедренная артерия — заднеберцовая артерия, заднеберцовая артерия — артерии второго пальца ноги, сонная артерия — левая височная артерия. СРПВ определялась в состоянии покоя в положении лежа и при ортопробе, до и после испытаний. В состоянии покоя СРПВ после испытаний существенно не изменилась (P>0,05). Во время ортопробы СРПВ (рис. 3) достоверно возрастала (P<0,05) по сосудам стопы, голени, бедра, кисти. По остальным участкам сосудистого русла изменения СРПВ при ортопробе не были достоверными. После испытаний реакция СРПВ на всех участках сосудистого русла при ортостатической пробе существенно не изменилась.



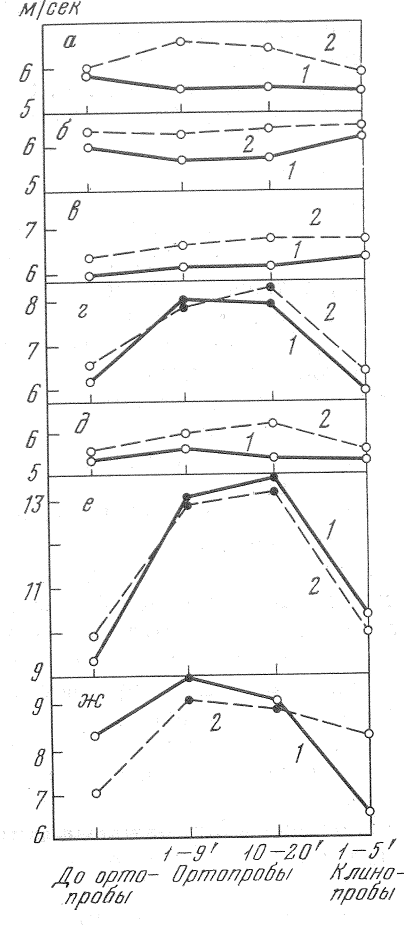



**Рис. 3. Скорость распространения пульсовой волны при ортоклиностатической пробе до и после испытаний в макетах корабля «Союз»**

Участки кровяного русла:
а — сонная артерия — височная артерия;
б — сонная артерия — сосуды мозга (орбита глаза);
в — сердце — лучевая артерия;
г — сосуды кисти;
д — аорта;
е — бедренная артерия — заднеберцовая артерия;
ж — сосуды стопы;
1 — до испытаний;
2 — после испытаний

В поддержании определенного уровня кровообращения активную роль играют артериолы, в том числе и кожные.

Для изучения тонуса артериол кожи была использована методика измерения температуры кожи различных участков тела: лба, правой части груди, правой голени, тыла стопы и кисти.

Оказалось, что во время ортопробы температура кожи кисти, голени, стопы снижалась на 0,4—0,5°. Однако разность температуры кожи этих участков в покое и при ортопробе не была статистически достоверной (P>0,05). Средняя взвешенная температура кожи, рассчитанная по Н. К. Витте, не изменялась. После испытаний температурная реакция кожи при ортопробе не менялась.

Окклюзионная плетизмография правой орбиты глаза, пальца руки и ноги обнаружила неизменность объемной скорости кровотока на изучаемых участках тела после испытаний.

Таким образом, проведенные исследования не выявили существенных изменений после испытаний тонуса артериальных сосудов в покое и при ортостатической пробе.

Для изучения тонуса венозных сосудов применялась окклюзионная плетизмография первого пальца ноги, руки, орбиты глаза. Величина депонирования крови в

ногах измерялась при помощи водяного плетизмометра. Для этой цели измеряли объем ноги (стопа и две трети голени) в положении сидя и в течение 1,5-минутного стояния.

Согласно данным В. В. Орлова (1961), Н. И. Аринчина (1961), Гринфилда и соавт. (Greenfield, 1963), Графа (Graf, 1964) и других, величина прироста объема органа при затруднении венозного оттока свидетельствует о растяжимости эластичного каркаса венозных сосудов или о тонусе вен этого органа.

После испытаний величины прироста тканей орбиты глаза [по данным Б. Е. Вотчала (1967), этот прирост зависит от тонуса интракраниальных вен], пальцев руки и ноги при затруднении венозного оттока путем окклюзии вен шеи, плеча и бедра при давлении в манжете соответственно 20, 40 и 40 мм рт. ст. не изменялись. Это дает основание заключить, что тонус вен пальцев руки, ноги, интракраниальных тканей за период испытаний не изменился. Измерение периметров голени выявило их уменьшение на 1—1,5 см после испытаний.

Данные плетизмометрии обнаружили уменьшение объема ноги после испытаний.

После испытаний 1-й серии (длительностью 3—11 суток) объем ноги уменьшился на 80 мл, после испытаний 2-й серии (длительностью 20—25 суток) — на 150 мл. Следовательно, после испытаний большей длительности снижение объема ноги было более выраженным, однако различия не были статистически достоверными ($P>0,05$). При вставании объем ноги возрастал на 20—25 мл. После испытаний величина прироста объема ноги при вставании существенно не изменилась. Это дает основание полагать, что величина депонирования крови в ногах в вертикальном положении после испытаний существенно не изменилась.

Уменьшение объема ноги отмечено также у космонавтов после космических полетов в кораблях «Союз-6», «Союз-7», «Союз-8», «Союз-9» и «Аполлон». Так, наблюдалось уменьшение периметра ног у 24 членов экипажа после полетов космических кораблей «Аполлон» в среднем на 1,1 см, или на 2,9% от предполетных величин (Johnson, Hoeffer, 1973). Изменение объема ноги в условиях космического полета авторы объясняют перемещением крови из нижних конечностей вследствие отсутствия действия силы тяжести. Однако данные, полученные нами, свидетельствуют о том, что этот эффект имеет место при пребывании человека в макетах космических кораблей, где отсутствуют условия, вызывающие перераспределение жидкости. Очевидно, уменьшение объема ноги в условиях космического полета обусловлено не только действием невесомости. Причинами снижения объема ноги могут явиться уменьшение объема мягких тканей ноги — мышечной, жировой, а также перемещение жидкости из нижних конечностей за счет повышения тонуса артериальных сосудов.

Таким образом, проведенные исследования не выявили снижения тонуса артериальных и венозных сосудов после испытаний. Не было также отмечено существенных изменений в величине депонирования крови в ногах в вертикальном положении тела по сравнению с данными до испытаний. Следовательно, снижение ортостатической устойчивости после испытаний нельзя объяснить снижением тонуса артериальных и венозных сосудов нижних конечностей.



Для оценки состояния физической работоспособности до и после испытаний проводилась проба с дозированной физической нагрузкой на велоэргометре (1200 кгм/мин в течение 5 мин.).

Во время работы и 5-минутного восстановительного периода непрерывно регистрировали ЭКГ в отведении Нэба, записывали частоту дыхания и ежеминутно измеряли кровяное давление методом Короткова.

У испытателей сохранялась способность выполнять данную нагрузку, однако физиологическая «стоимость» нагрузки при этом повышалась. Это проявлялось в более выраженном учащении пульса, снижении адекватной реакции артериального давления, появлении феномена бесконечного тона и удлинении восстановительного периода. Изменения были более выражены после испытаний длительностью 20—25 суток.

Таким образом, пребывание человека в макете кораблей типа «Союз» длительностью до 25 суток вызывает изменения функционального состояния организма, которое проявляется в урежении пульса и изменении показателей ЭКГ, снижении водного обмена, потере веса и уменьшении объема ног, изменении клинико-биохимических показателей крови (укорочении времени свертываемости крови, возрастании гематокрита, общего белка, концентрации кальция, молочной кислоты, хлоридов в крови), снижении адаптационных возможностей сердечно-сосудистой системы при ортостатической пробе и пробе с дозированной физической нагрузкой. Тонус артериальных и венозных сосудов, а также величина депонирования крови в ногах при стоянии не изменялись.

Изменения показателей сердечной деятельности, водного и минерального обмена, веса тела, объема ноги, гемодинамики при ортостатической пробе, пробе с физической нагрузкой во время испытаний в макетах кораблей типа «Союз» качественно, а в ряде случаев и количественно, были аналогичны изменениям в условиях космического полета кораблей «Союз». После испытаний длительностью 3—11 и 20—25 суток не обнаружено существенных различий в реакции организма на ортостатическую пробу и различий в функциональном состоянии центральной нервной системы, однако после длительного пребывания в объекте отмечено более выраженное снижение физической работоспособности, увеличение ломкости капилляров. Поскольку изменения функционального состояния организма возникают даже после 3—11-суточных испытаний, то для предотвращения функциональных нарушений в организме необходимо применять комплекс профилактических мероприятий в кратковременных полетах.

Таким образом, анализ полученных материалов показал важность проведения исследования состояния человека во время комплексных испытаний, проводимых в макетах космических кораблей. Эти исследования позволяют более полно оценить эффективность работы систем жизнеобеспечения, аппаратуры медицинских исследований, средств профилактики и т. д. Кроме того, эти исследования занимают определенное место в цепи исследований, посвященных изучению влияния космических полетов на организм человека. Они позволяют также выделить удельный вес комплекса факторов, специфичных для обитаемых отсеков, в возникновении функциональных изменений в организме человека во время космических полетов.

## ЛИЧНАЯ ГИГИЕНА ЭКИПАЖА

Своеобразие гигиенических условий при полетах на космических кораблях типа «Союз» внесло некоторые коррективы в традиционные представления о необходимом объеме и периодичности процедур по уходу за телом человека.

В отсеках корабля, которые предварительно очищены и обеззаражены, практически не имеют притока пыли извне, снабжены системами кондиционирования и регенерации газовой среды, а программой полета не предусмотрены работы, связанные с загрязнениями смазочными маслами, внешнее загрязнение тела и одежды космонавтов сокращалось до минимума. Значительная часть полета проходила при уровне пылевой загрязненности, не превышающем допустимых величин для воздуха обитаемых помещений. Исключение составляли периоды маневрирования корабля (коррекция орбиты, закрутка и т. п.), когда запыленность воздуха увеличивалась.

Гигиеническая обработка кожи лица, шеи и кистей рук производилась при помощи марлевых салфеток, пропитанных лосьоном. Такими же салфетками обрабатывалась кожа под электродами аппаратуры врачебного контроля. Остальная поверхность тела очищалась в процессе ношения нательного трикотажного белья, которое поглощало с поверхности кожи человека значительную часть органических и минеральных веществ (до 80—90%).

В самом продолжительном полете кораблей «Союз» (18-суточном), кроме того, проводилось общее влажное обтирание тела членов экипажа при помощи вискозного трикотажного полотенца, пропитанного лосьоном. Обработка ротовой полости проводилась влажной салфеткой из вискозного трикотажа. В состав текстильных материалов салфеток и полотенец входил гексахлорофен, обеспечивающий антимикробное действие по отношению к потенциальным возбудителям возможных заболеваний кожи в указанных условиях (стафилококку и др.). Перечень средств личной гигиены и их свойства представлены в табл. 8 и 9.

На борту корабля «Союз-9» А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов дополняли утренний туалет бритьем. Они пользовались специальной безопасной бритвой и электробритвой «Агидель». Все детали аппарата безопасной бритвы механически связаны между собой, что исключает «уплывание» при невесомости на всех этапах пользования. Перед бритьем на кожу лица космонавты наносили тонкий слой крема на безмыльной основе, который облегчал срезание волос и предотвращал распространение их по кабине. После бритья остатки крема удалялись салфеткой, увлажненной лосьоном. Электробритва снабжена устройством для отсоса срезанных волос и имеет автономный источник электропитания. Таким же образом проводилось бритье в последующих полетах.

Членами экипажей дана положительная оценка средств личной гигиены. Использование 60 мл лосьона на одного человека в сутки достаточно для обеспечения гигиенических мероприятий. Для влажного обтирания всего тела целесообразно использовать 130 мл. В полетах продолжительностью до восьми суток смена нательного белья не производилась. В полете «Союз-9» белье сменялось на 8 и 14 сутки после обтирания тела увлажненным лосьоном и сухим полотенцем.



Таблица 8. **Средства личной гигиены экипажа космического корабля «Союз»**

| Наименование | Число на одного члена экипажа | Вес, г |
|---|---|---|
| Антимикробные хлопчатобумажные марлевые салфетки, содержащие химически связанный гексахлорофен и увлажненные лосьоном ББС-Ш | | |
| большие (45×33 см) | 1 на сутки | 24,0 |
| средние (33×22,5 см) | 4 на сутки | 48,0 |
| Антимикробные салфетки из вискозного трикотажа с гексахлорофеном, введенным при формировании волокна и увлажненные лосьоном ББС-Ш, малые (15×13 см) | 1 на сутки | 8,0 |
| Полотенце из вискозного трикотажа с гексахлорофеном, введенным при формовании волокна и увлажненное лосьоном ББС-Ш (100×35 см) | 1 на неделю | 165,0 |
| Полотенце сухое из льняного полотна (100×35 см) | 1 на неделю | 8,0 |
| Антимикробные хлопчатобумажные марлевые салфетки, сухие | | |
| большие (45×33 см) | 1 на сутки | 9,0 |
| малые (33×22,5 см) | 2 на сутки | 4,5 |

Таблица 9. **Физико-механические свойства текстильных материалов, использованных для изготовления средств личной гигиены экипажа**

| Показатель | Антимикробные с гексахлорофеном | | | | Полотно льняное |
|---|---|---|---|---|---|
| | марля хлопчатобумажная, изготовленная с применением | | вискозный трикотаж * | | |
| | метанолового раствора ГХЛ** | водного раствора динатриевой соли ГХЛ *** | интерлочный | основовязаный | |
| **Вес 1 м², г** | 52,9 | 52,9 | 152,5 | 298,2 | 180,0 |
| **Водопоглощаемость, %** | 27,8 | 67,7 | 96,3 | 131,0 | 73,6 |
| **Водоемкость, %** | | | | | |
| минимальная | 484,0 | 705,2 | 384,3 | 303,0 | 187,0 |
| максимальная | 62,0 | 76,0 | 98,1 | 133,0 | 77,6 |
| **Гидрофильность, %** | 45,0 | 89,0 | 98,2 | 98,5 | 94,8 |
| **Потеря волокна, %** | 0,69 | 0,69 | 1,11 | 1,23 | — |
| **Прочность на продавливание шариком, кг** | 2,7 | — | 35 | 26 | 61,1 |
| **Прочность к истиранию, число циклов** | — | 144 | 88 | 102 | 464 |

* Из интерлочного трикотажа изготавливались полотенца, увлажняемые лосьоном, из основовязаного — малые салфетки.
** Использовалась на первых кораблях «Союз».
*** Использовалась в дальнейших полетах.

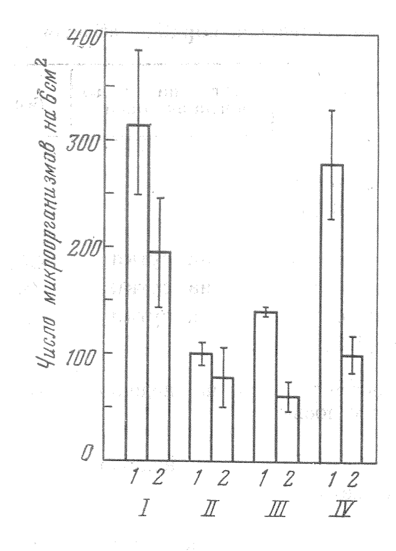
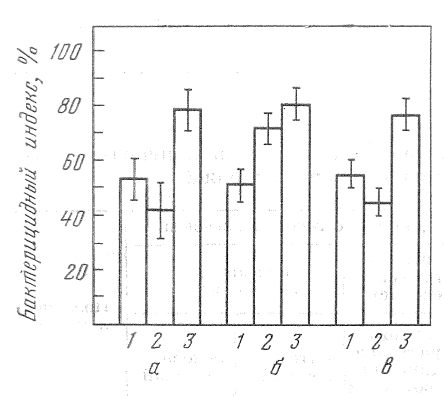



**Рис. 4. Микробная обсемененность кожи испытателей после гигиенической обработки ее изделиями из текстильных материалов, пропитанных дистиллированной водой (1) и лосьоном ББС-III (2)**

*I* — лоб;
*II* — подмышечная впадина;
*III* — спина;
*IV* — подколенная впадина



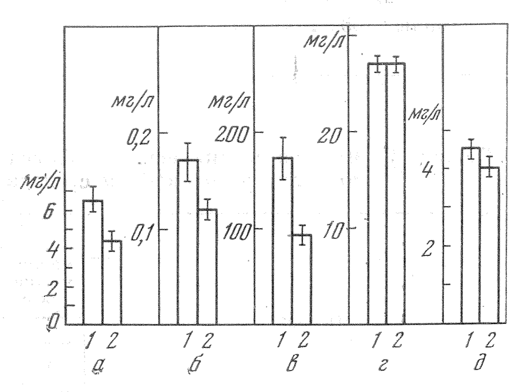




**Рис. 5. Влияние гигиенической обработки кожи испытателей изделиями из текстильных материалов, пропитанных дистиллированной водой и лосьоном ББС-III, на ее бактерицидную способность**

*а, б, в* — испытатели;
*1* — до гигиенической обработки;
*2* — дистиллированная вода;
*3* — лосьон ББС-III

**Рис. 6. Влияние гигиенической обработки полости рта испытателей изделиями из текстильных материалов, пропитанных лосьоном ББС-III, на содержание химических компонентов в водных смывах**

*а* — азот аммонийных солей;
*б* — азот нитритов;
*в* — окисленных органических веществ;
*г* — хлоридов;
*д* — кальция;
*1* — до;
*2* — после гигиенической обработки

Для защиты органов дыхания от пыли во время спуска использовались противопыльные маски-респираторы «Снежок». Маски показали хорошие защитные качества при весьма незначительном сопротивлении вдоху.

Для оценки эффективности указанных средств личной гигиены в процессе комплексных испытаний в медицинском макете корабля «Союз» проведены химические и бактериологические исследования смывов с ис-



пользованных салфеток. В среднем они содержали 99,6 мг хлоридов, 52,88 мг кальция, 105,6 мг аммонийного азота и 0,67 нитритов. Окисляемость смывов составила 1057,6 мг $O_2$, что соответствует среднесуточному накоплению органических веществ на коже человека в подобных условиях.

Количество микроорганизмов в смывах с салфеток и полотенец, использованных испытателями в процессе комплексных испытаний, не превышало $10^3$—$10^4$ в 1 мл. Учитывая благоприятные условия для роста микробного числа в водных смывах, следует считать данный уровень микробного обсеменения салфеток и полотенец вполне допустимым.

Положительная оценка указанного способа гигиенической обработки полости рта выявлена при исследованиях в условиях комплексных испытаний (рис. 4, 5, 6) и подтверждена в процессе полетов.

Общее число микробов в смывах с санитарно-бытового оборудования макета корабля в среднем составляло $7 \cdot 10$—$4 \cdot 10^4$ в 1 мл. Бактерии кишечной группы были обнаружены в смывах с приемника твердой фазы выделений человека и наружной поверхности мочеприемника ассенизационного устройства лишь в длительных комплексных испытаниях.

Микробная обсемененность кистей рук испытателей была незначительной ($1{,}2 \cdot 10$—$5{,}4 \cdot 10^2$ в 1 мл смыва). Заметного возрастания количества микробов в конце испытаний не наблюдали. Единичные бактерии кишечной группы были обнаружены только у одного испытателя. Увеличения уровня микробной обсемененности кожи других участков не отмечено.

После окончания испытаний была определена химическая и бактериальная загрязненность нательного белья и носков. В 23-суточных испытаниях содержание хлоридов превышало в 3,4 раза, органических веществ в 1,1 раза, азота аммонийного в 46 раз средний уровень в кратковременных испытаниях. Содержание кальция и азота нитритов во всех испытаниях находилось приблизительно на одном уровне. Смывы с белья и носков имели слабокислую реакцию (pH 6,4). Полученные данные, особенно содержание хлоридов и аммонийного азота, свидетельствуют о значительном загрязнении одежды потом и мочой.

Микробная обсемененность одежды при длительных комплексных испытаниях была значительной и превышала соответствующие данные, полученные в сравнительно кратковременных экспериментах. Это относится как к общему числу микроорганизмов, так и к санитарно-показательным видам (Нефедов и др., 1975; Верников, Борщенко, 1974; Калинина и др., 1975; Brockett, Ferguson, 1975).

Во время комплексных испытаний в сборниках ассенизационных устройств и холодильно-сушильном агрегате в среднем накапливалось 1,674 л на 1 человека в сутки мочи и конденсата атмосферы кабины. Средняя периодичность дефекации в условиях комплексных испытаний составила 1,94 суток. Среднее количество фекальных масс равнялось 106 г на 1 человека в сутки. В ходе полетов ассенизационное устройство со вспомогательными агрегатами обеспечило сбор и изоляцию выделений членов экипажа, а также забор материала для некоторых медико-биологических исследований (Балаховский и др., 1974; Чижов, Синяк, 1973). Периодичность физиологических отправлений в условиях по-

лета существенно не отличалась от наблюдаемой при комплексных испытаниях.

Работа бортового пылесоса при режиме функционирования, предусматривающем дважды в сутки обработку поверхностей кабины, предотвращала превышение допустимого для условий полета уровня пылевой загрязненности воздуха (Петров, 1975; Финогенов и др., 1975).

Результаты исследований при комплексных испытаниях в медицинском макете корабля «Союз» и данные санитарной оценки в процессе полетов показали, что примененные средства личной гигиены, полетная одежда и санитарно-бытовые устройства в основном отвечали необходимым требованиям.

Вместе с другими элементами системы обеспечения нормальных условий для жизнедеятельности человека и комплексом профилактических мероприятий (Гуровский и др., 1975) указанные средства способствовали сохранению высокого уровня работоспособности экипажа.

# Глава 4. БОРТОВОЙ РАЦИОН ПИТАНИЯ И СИСТЕМА ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ

## ФИЗИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНОВ ПИТАНИЯ И ИХ ОЦЕНКА В КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ

В комплексе исследований по созданию систем жизненного обеспечения человека в космических полетах решению проблемы питания принадлежит одно из основных мест.

Однако при решении этой проблемы следует учитывать то обстоятельство, что необычные условия среды в космическом полете, обусловленные невесомостью и ее сочетанием с другими факторами, поставили много совершенно новых задач.

До первых космических полетов человека было неясно, как в этих условиях будут осуществляться такие физиологические акты, как жевание, глотание, дефекация. Не изменятся ли при этом вкусовые ощущения. Какое влияние окажут условия полета на энерготраты, обмен веществ, пищеварительную функцию, потребность человека в пищевых ингредиентах и воде. Как будут функционировать при этом механизмы, регулирующие поступление пищи и воды в организм (аппетит, жажда), и механизмы, управляющие промежуточным обменом этих веществ.

Наряду с перечисленными необходимо было решить также и задачи чисто технологические и технические, а именно: выбрать и разработать приемлемые пищевые формы, надежные способы консервирования, рациональной упаковки продуктов, приспособления для их размещения и хранения на борту, а также для приготовления и приема пищи в необычных условиях.

При космических полетах рацион питания с приспособлениями для хранения продуктов, приготовления и приема пищи следует рассматривать в качестве лишь одного звена в системах жизнеобеспечения космических кораблей и дальнейшие исследования проводить с учетом этого положения.

Особенности комплектования пищевых звеньев зависят как от продолжительности космических полетов, так и от принципов построения систем жизнеобеспечения в целом.

При космических полетах продолжительностью около месяца, когда воду берут в виде запасов, для питания экипажей может использоваться обычная консервированная пища, так как в этом случае общий вес запасаемой воды можно уменьшить на количество ее, содержащееся в пищевых продуктах.

При более продолжительных полетах и регенерации воды на борту рационы целесообразно создавать из обезвоженных продуктов, что будет способствовать уменьшению веса запасаемых веществ. Наиболее совершенным способом обезвоживания продуктов считается сублимационная (лиофильная) сушка. При его применении в большей степени, чем при

3 Заказ № 716

тепловой сушке, сохраняются исходные качества продуктов (Воскресенский и др., 1954; Карандаева, 1963; Ткаченко, 1966).

Следует отметить, что использование обезвоженных пищевых продуктов в рационах питания экипажей космических кораблей имеет преимущества и при непродолжительных полетах. Обезвоживание является надежным способом консервирования; такие продукты можно брикетировать, что способствует уменьшению их объема; их можно упаковывать в полимерные пленки, что значительно уменьшает вес тары, а следовательно, и общий вес бортового рациона. Кроме того, включение обезвоженных продуктов в рационы питания экипажей космических кораблей при непродолжительных полетах способствует накоплению данных по их влиянию на пищевой статус организма в условиях комплексного воздействия факторов полета, что позволяет прогнозировать возможность использования подобных продуктов в более длительных полетах.

Известно, что комплексное воздействие факторов космического полета на человека сопровождается определенными сдвигами в обмене веществ, функции пищеварения, общей реактивности, что не может не изменить его потребность в некоторых пищевых ингредиентах и энергии. Поэтому для успешного решения проблемы питания при космических полетах проводились исследования в двух направлениях: в направлении создания рационов питания для экипажей космических кораблей и изучения их влияния на организм как в обычных условиях, так и при воздействии факторов полета; и в направлении изучения влияния факторов космического полета на обмен веществ, энергии и пищеварительную функцию организма для последующей корректировки разработанных рационов.

## ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ПИЩЕВЫХ ЗВЕНЬЕВ В СИСТЕМАХ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ

При разработке рационов питания для экипажей космических кораблей, наряду с требованиями, предъявляемыми к рациональному питанию на Земле, следует также руководствоваться следующими положениями: соответствием химического состава и калорийности рационов потребностям организма человека применительно к условиям полетов; приемлемостью продуктов по органолептическим качествам; надежностью при хранении, транспортировке и эксплуатации в реальных условиях полета (ускорения, вибрации, ионизирующее излучение, невесомость, вакуум, измененная газовая среда, особенности микроклимата и т. п.); перспективностью продуктов, включаемых в бортовые рационы, для использования их экипажами космических кораблей с большими сроками полета.

Исходя из принципов построения систем жизнеобеспечения, большинство исследователей разделяют последние на три категории, а именно: непродолжительные — несколько дней, средней продолжительности — до шести месяцев, длительные — до нескольких лет (Taylor, 1958; Brockmann et al., 1958; Simons, 1958; Finkelstein et al., 1960; Nutrition for man in space, 1960; Ordway et al., 1962; Finkelstein, 1962; Adams, 1963).

На некоторые вопросы об особенностях питания в космосе удалось получить ответы при помощи исследований в условиях кратковременной невесомости, при полетах самолетов по параболической кривой. При этом



было установлено, что глотание жидкостей и хорошо разжеванной пищи происходило без затруднений (Юганов и др., 1961; Ward et al., 1959).

Но окончательные ответы на вопросы об особенностях питания в космосе были получены после первых полетов кораблей-спутников «Восток».

Рационы питания первых двух космических кораблей состояли из консервированных продуктов пюреобразной консистенции, упакованных в алюминиевые тубы. Возможности использования твердой пищи впервые начали изучаться в полете корабля-спутника «Восток-2».

При испытаниях рационов в процессе наземных тренировок в баро- и сурдокамерах, проводимых при участии космонавтов с имитацией предполагаемых в полетах режимов труда и отдыха, было установлено, что энергетическая ценность рационов должна находиться в пределах 2500—2700 ккал в сутки (Первые космические полеты человека, 1962).

Наиболее рациональным было признано четырехразовое питание с промежутками между приемами пищи 4—5 час. При этом была выявлена также повышенная потребность организма в некоторых витаминах, и они в виде драже были включены в состав рационов (Арутюнов и др., 1962; Удалов, 1964).

Калорийность рационов питания экипажей кораблей «Восток», «Восток-2, 3, 4, 5, 6» колебалась от 2 530 до 2 770 ккал; на «Восход-1» она была — 3600, а на «Восход-2» — 3250 ккал. Увеличение калорийности на двух последних кораблях связано с расширением объема выполняемой космонавтами работы.

В рационах питания экипажей всех кораблей типа «Восток» и «Восход» белки составляли от 15 до 19, жиры от 30 до 39 и углеводы от 46 до 53% общей калорийности (Первый групповой космический полет, 1964; Балаховский и др., 1966; Попов, 1966).

Точных данных об энерготратах во время полетов получить не удалось. Было только установлено, что вес тела космонавтов за время полетов снижался в среднем на 2 кг (Балаховский, 1967).

И. Г. Попов (1966) на основе анализа данных, полученных при полетах кораблей «Восток» и «Восход», пришел к заключению, что у космонавтов повышается потребность организма в некоторых витаминах (рибофлавин, пиридоксин, никотиновая кислота).

Подобное явление отмечалось в условиях нервно-эмоционального напряжения, что уже нашло отражение в действующих нормах по витаминам различных профессиональных групп (Васюточкин, 1959, 1964; Ефремов, 1964; Покровский, 1964а; Recommended dietary allowances, 1964; Бременер, 1966).

Опыт обеспечения питанием экипажей космических кораблей «Джемини» и «Аполлон» показал целесообразность использования обезвоженных продуктов при регенерации воды на борту кораблей. При этом установлена необходимость в проведении дальнейших исследований по усовершенствованию технологии производства таких продуктов, направленной на улучшение их вкусовых качеств, а также по разработке более удобных и экономных по времени способов приготовления и приема пищи в условиях полета. Кроме того, необходимо улучшить технологию очистки воды, используемой для регидратации обезвоженной пищи.

Особенность длительных (несколько лет) космических полетов заключается в том, что в этих полетах все или большинство компонентов

жизненного обеспечения экипажей, в том числе пища, должны воспроизводиться на борту кораблей (Taylor, 1958; Brockmann et al., 1958; Hanson, 1958; Hamdy et al., 1959; Finkelstein et al., 1960; Clark et al., 1960; Hursh, 1960; Tisher, 1960, 1960a; Арутюнов и др., 1961; Clamann, 1961; Adams, 1963; Lachance et al., 1963).

Таким образом, при непродолжительных космических полетах, когда кислород и воду берут в виде запасов, для питания экипажей может использоваться обычная консервированная пища — жидкой, пюреобразной и твердой консистенции, так как в этом случае общий вес запасаемой воды можно уменьшить на количество ее, содержащееся в пищевых продуктах.

При космических полетах средней продолжительности и регенерации воды на борту кораблей питание, очевидно, будет осуществляться за счет запасов обезвоженной пищи.

До создания надежных способов воспроизводства пищи космонавты, по-видимому, будут также питаться за счет запасов обезвоженных продуктов, по мере же разработки отдельных звеньев воспроизводства пищи, они, наряду с запасами, будут включаться в системы жизнеобеспечения экипажей. Объем выполненных нами исследований по разработке рационов питания представлен в табл. 10.

Для оценки адекватности разработанных рационов питания потребностям организма человека мы изучали влияние измененного питания и его сочетания с некоторыми факторами, имитирующими космический полет на уровень некоторых показателей (констант), характеризующих состояние внутренней среды организма.

Так как определенные сдвиги во внутренней среде организма могут проявляться клиническими симптомами, то на протяжении всех исследований испытатели находились под постоянным медицинским наблюдением. У них исследовали показатели, характеризующие состояние белкового, липидного, углеводного, витаминного, водно-минерального обмена, иммунобиологической реактивности организма и функционального состояния пищеварительной, симпато-адреналовой систем и коры надпочечников.

При выборе методов исследования учитывали опыт изучения состояния питания и здоровья населения (Бузник, 1956; Покровский, 1964).

Изучаемый комплекс показателей позволял нам составить суждение о функциональном состоянии механизмов, обеспечивающих поддержание постоянства внутренней среды организма, а также проследить динамику адаптационных процессов.

Перед испытаниями мы проводили химический анализ изучаемых рационов питания для того, чтобы после определения экскреции этих же компонентов из организма, вычислить их баланс и установить потребность в них организма применительно к условиям проводимых исследований.

Для оценки функционального состояния пищеварительной системы определяли показатели, характеризующие секреторную функцию слюнных желез, секреторно-моторную функцию желудка, ферментовыделительную функцию поджелудочной железы и кишечника, желчевыделительную функцию печени. Эти показатели не во всех экспериментах определяли в полном объеме.



Таблица 10. **Объем выполненных исследований по разработке и испытаниям рационов питания для экипажей космических кораблей серии «Союз»**

| Цель экспериментов | Число экспериментов | Число испытуемых и космонавтов | Продолжительность экспериментов, сутки |
|---|---|---|---|
| Обоснование возможности питания человека рационами из обезвоженных продуктов в течение месяца в лабораторных условиях и гермокамерах с искусственной средой обитания | 3 | 6 | 22—35 |
| Испытание рациона, разработанного из сочетания обезвоженных и консервированных другими методами продуктов, рассчитанного на подогревание первых блюд в лабораторных условиях (вариант 1) | 1 | 8 | 25 |
| Испытание рациона, разработанного из сочетания обезвоженных и консервированных другими методами продуктов, не рассчитанного на подогревание первых блюд в лабораторных условиях (вариант 2) | 1 | 6 | 65 |
| Испытание первого варианта рациона в гермокамерах с искусственной средой обитания | 8 | 14 | 19—60 |
| Испытание второго варианта рациона в макете космического корабля, рассчитанного на полет продолжительностью до 12 суток | 5 | 10 | 10—11,5 |
| Испытание второго варианта рациона (до и после корректировки в макетах космических кораблей «Союз-3,4,5,6,7,8» | 6 | 11 | 3,5—10,5 |
| Испытание скорректированного первого варианта рациона в макете космического корабля «Союз-9» | 3 | 6 | 20—24,5 |
| Испытание рационов питания экипажей космических кораблей «Союз-3,4,5,6,7,8,9» в реальных полетах | 7 | 14 | 3—18 |
| **Всего** | 29 | 55 | 3—60 |

Исследовали показатели белкового обмена: в сыворотке крови — общий белок и его фракции, свободные аминокислоты, остаточный азот; в моче — общий азот, мочевину, аммиак, мочевую кислоту, свободные аминокислоты, аминный азот, креатин, креатинин; в кале — общий азот. Для вычисления азотистого баланса определяли также содержание общего азота в рационах питания. Определив содержание азота в рационах и кале, вычисляли его усвояемость.

В сыворотке венозной крови определяли показатели липидного обмена: общие липиды, холестерин — общий, свободный и эстерифицированный, фосфор фосфолипидов, процентное содержание альфа- и бета-липопротеидов.

Для характеристики углеводного обмена мы пользовались тестом толерантности к глюкозе, введенной внутривенно (сахарная нагрузка), а также определяли активность амилазы в сыворотке крови и диастазы в моче. Изучали обмен следующих витаминов: А (ретинола), Е (токоферолов),

$B_1$ (тиамина), $B_2$ (рибофлавина), $B_6$ (пиридоксина), С (аскорбиновой кислоты).

Для исследования были выбраны именно эти витамины потому, что они играют особенно важную роль в обмене веществ как при измененном питании, так и при воздействии факторов космического полета (Арутюнов и др., 1962; Ефремов, 1964; Удалов, 1964; Попов, 1966).

Для суждения о функциональном состоянии мозгового вещества надпочечников и симпатической нервной системы определяли в суточной моче испытуемых содержание адреналина и норадреналина. О глюкокортикоидной активности коры надпочечников судили по содержанию стероидных гормонов и их метаболитов в суточной моче.

Для характеристики состояния водного обмена у испытателей определяли объем внеклеточной жидкости; количество выпитой за сутки воды и поступавшей в составе рациона питания; количество образующейся в организме метаболической воды; суточный диурез; количество воды, выделенной с калом; количество воды, выделяющейся через кожу и легкие.

Для характеристики минерального обмена в рационах питания, кале, моче и сыворотке крови испытателей определяли элементы кальций, магний, фосфор, серу, натрий, калий, хлор.

Для суждения о состоянии врожденных, видовых факторов иммунитета при проведении наших исследований у испытателей определяли фагоцитарную активность лейкоцитов крови; содержание в сыворотке крови сиаловых кислот; лизоцимную активность слюны и сыворотки крови; содержание и характер микрофлоры в полости рта, зеве и толстом кишечнике.

При разработке рационов питания для экипажей космических кораблей серии «Союз», удовлетворяющих энергетические и пластические потребности организма человека, предъявлялись следующие требования: вес среднесуточного рациона не должен быть больше 0,85 кг, объем — 1,4 л с упаковкой.

Было принято решение о комплектовании рациона на основе обезвоженных и консервированных другими методами продуктов. Этот рацион состоял из 30 продуктов и блюд. Из них восемь были обезвожены методом сублимационной, столько же — методом тепловой сушки, а остальные содержали нормальное количество воды. Среди последних было пять наименований мясных консервов, три первых блюда, хлеб, сыр советский, фруктово-ягодные соки, кондитерские изделия и другие продукты.

Рацион питания был составлен по трехдневному меню с четырехразовым приемом пищи в сутки. Испытания рациона питания в лабораторных условиях на восьми испытателях в течение 15 суток показали, что он по калорийности оказался адекватным для лиц с весом тела около 70 кг.

В соответствии с данными, полученными в этих исследованиях, рацион был скорректирован и стал содержать: белков — 113 г, жиров — 93 г, углеводов — 319 г при калорийности — 2635 ккал. Содержание незаменимых и заменимых аминокислот было следующим (в мг): незаменимые — треонин — 4,1; изолейцин — 5,4; лейцин — 8,6; лизин — 7,5; метионин — 2,2; фенилаланин — 4,7; триптофан — 3,1; валин — 5,5; заменимые — цистин — 1,3; тирозин — 3,6; аргинин — 6,6; гистидин — 3,1; аланин — 3,7; аспарагиновая кислота — 6,6; глютаминовая кислота — 15,6; глицин — 4,1; серин — 3,6.



В рационе содержалось (в г): растительных жиров — 22,0, полиненасыщенных жирных кислот — 7,0, фосфатидов — 4,0, холестерина — 0,5, т. е. нормальное их количество (Покровский, 1964а).

Количество минеральных элементов составляло следующие величины (в мг): кальция — 900, фосфора — 1120, магния — 270, калия — 1890, натрия — 5910, хлора — 4290, серы — 1920, железа — 80, меди — 6, цинка — 25, т. е. отвечало требованиям нормальной диеты (Покровский, 1964а). Кроме витаминов, содержащихся в рационе, испытатели ежесуточно получали в составе поливитаминного драже: витамина А — 1650 ИЕ, $B_1$ — 5 мг, $B_2$ — 5 мг, $B_6$ — 5 мг, РР — 50 мг, пантотената кальция — 10 мг.

В последующем этот рацион питания испытывали в условиях гермокамер с участием 14 испытателей. Условия микроклимата в гермокамерах были комфортными. Испытатели большую часть времени проводили в кресле в полугоризонтальном положении. На физические упражнения расходовалось в среднем в сутки около 200 ккал энергии.

При этом у всех испытателей сохранялся удовлетворительный пищевой статус, что дает основание признать рацион адекватным их потребностям в данных условиях.

Вес тела у 11 испытателей изменялся на протяжении испытаний незначительно. У трех испытателей наблюдалось заметное снижение веса тела на 1,6; 2,0 и 3,5 кг, но при этом следует учесть, что исходный вес этих испытателей превышал «идеальный» на 6, 13 и 8 кг соответственно. По энергетической ценности рацион оказался адекватным потребностям испытателей с «идеальным» весом тела около 70 кг (табл. 11).

Цифры, полученные в расчете на «идеальный» вес, по-видимому, в большей степени отражают истинную потребность организма в пищевых веществах, так как жировая ткань в значительной мере метаболически инертна.

У большинства испытателей в гермокамерах наблюдалось повышенное выделение конечных продуктов азотистого обмена, что сопровождалось отрицательным балансом азота различной степени выраженности. Это объяснялось как относительной гипокинезией, так и нервно-эмоциональным напряжением. Степень реакции находилась в прямой зависимости от индивидуальных особенностей испытателей, зависящих, по-видимому, от типа их высшей нервной деятельности. Она зависела также от степени привыкания (тренированности) испытателей к воздействующим на них факторам.

При пребывании шести испытателей в макете космического корабля у них был отрицательный азотистый баланс, судя по выраженной компенсаторной задержке азота в первые трое суток после выхода из макета (среднесуточный азотистый баланс по группе был +2,3 г). Наблюдались весьма значительные индивидуальные колебания в степени выраженности компенсаторной задержки азота после, а значит и уровня отрицательного баланса во время пребывания в макете.

При 25-суточном пребывании в барокамере испытателей М-го и Н-ва удалось выявить следующее: у Н-ва, обладающего весьма лабильной нервной системой, накануне того или иного воздействия (проба на переносимость гипоксии, центрифуга, окончание пребывания в гермокамере) резко увеличивалась экскреция с мочой общего азота, что сопровождалось толь-

Таблица 11. **Количество пищевых веществ и воды (в г) и энергии (в ккал), усвоенных испытателями на 1 кг истинного (I) и «идеального» (II) веса тела**

| Испытуемый | Белки | | Жиры | | Углеводы | | Вода | | Энергия | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| **З-ий** | 1,5 | 1,7 | 1,4 | 1,6 | 3,3 | 3,7 | 24 | 28 | 33 | 37 |
| **О-ев** | 1,7 | 1,7 | 1,4 | 1,4 | 4,9 | 4,9 | 29 | 29 | 40 | 40 |
| **Н-ин** | 1,3 | 1,4 | 1,1 | 1,2 | 4,0 | 4,2 | 28 | 30 | 32 | 34 |
| **Х-ан** | 1,4 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 4,0 | 4,2 | 28 | 30 | 32 | 35 |
| **Д-ов** | 1,2 | 1,3 | 1,1 | 1,2 | 3,8 | 4,1 | 28 | 30 | 31 | 33 |
| **Н-ов** | 1,3 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 4,0 | 4,5 | 29 | 33 | 33 | 37 |
| **Н-ин** | 1,3 | 1,4 | 1,1 | 1,2 | 4,0 | 4,2 | 28 | 30 | 32 | 34 |
| **Х-ан** | 1,4 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 4,0 | 4,2 | 28 | 30 | 32 | 35 |
| **Н-в** | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 4,2 | 4,2 | 37 | 37 | 36 | 36 |
| **М-ий** | 1,2 | 1,4 | 1,1 | 1,2 | 3,3 | 3,8 | 26 | 31 | 28 | 32 |
| **З-ий** | 1,4 | 1,6 | 1,3 | 1,4 | 4,0 | 4,4 | 25 | 29 | 35 | 38 |
| **С-ов** | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 4,5 | 4,5 | 29 | 29 | 37 | 37 |
| **Г-в** | 1,3 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 3,9 | 4,4 | 31 | 34 | 33 | 36 |
| **П-в** | 1,4 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 3,9 | 3,9 | 30 | 30 | 33 | 33 |
| **$M \pm mt_{95}$** | 1,4±±0,08 | 1,5±±0,07 | 1,2±±0,08 | 1,3±±0,07 | 4,0±±0,24 | 4,2±±0,17 | 29±±1,7 | 31±±1,4 | 33±±1,7 | 36±±1,3 |

ко в эти дни резко выраженным отрицательным азотистым балансом (—12,5 г; —3,5 г; —6,2 г соответственно); М-й при ожидании тех же воздействий проявлял более позднюю и незначительно выраженную реакцию. Отрицательный азотистый баланс (—2,1 г) у него обнаруживался уже на следующие сутки после воздействия острой гипоксии и (—0,1 г) накануне испытания на центрифуге. На окончание пребывания в гермокамере он вообще не дал видимой реакции. У Н-ва выделение общего азота с мочой составляло 16,6 г, у М-го — 13,5 г.

У испытателей З-го и С-ва, которые питались опытным рационом в течение 27 суток, из них — 16 суток в гермокамере, и никаким другим дополнительным воздействиям не подвергались, в опытный период наблюдался отрицательный азотистый баланс (—2,83 и —2,03 г соответственно) с компенсаторной задержкой азота в первые сутки после выхода из камеры (+4,02 и +2,64 г соответственно). Кроме того, у них к концу пребывания в гермокамере отмечалось повышение содержания общих липидов в сыворотке крови и более высокая и продолжительная гликемия при сахарной нагрузке. Такие изменения свидетельствовали о снижении созидательных процессов в организме в условиях относительной гипокинезии.

У испытателей Г-ва и П-ва, питавшихся опытным рационом в течение 60 суток, из них — 40 суток в гермокамере, в опытный период отмечалось снижение функциональной активности коры надпочечников с повышением ее в моменты смены камер и воздействия на испытателей новой среды обитания. У испытателя Г-ва в эти же периоды (21—23-и и 28—



30-е сутки) наблюдалась тенденция к увеличению экскреции общего азота с мочой. У испытателя П-ва перед сменой камер и после нее, а также за два дня до окончания испытаний был хорошо выраженный отрицательный баланс азота. По-видимому, у П-ва более лабильная, чем у Г-ва, нервная система. Сыграло, несомненно, определенную роль и то обстоятельство, что П-ов участвовал в подобном исследовании впервые, тогда как Г-ев — уже много раз.

Большинство авторов (Curthbertson, 1929; Miller et al., 1945; Deitrick et al., 1948; Schonheyder et al., 1954; Heilskov et al., 1955; Сызранцев, 1967; Серегин и др., 1969) считают, что при гипокинезии происходит снижение синтеза азотистых соединений мышц при сохранении или некотором увеличении скорости их распада, что и приводит к уменьшению объема мышц, снижению их силы, увеличенному выделению из организма некоторых конечных продуктов азотистого обмена. Именно этот механизм, по-видимому, лежал в основе повышенного выделения конечных продуктов азотистого обмена участников испытаний, где не было дополнительных (кроме пребывания в камере малого объема) воздействий.

При проведении же исследований, в которых под влиянием определенных воздействий у испытателей возникало состояние нервно-эмоционального напряжения, к вышеописанному присоединялся и другой механизм, способствующий повышенному выделению из организма конечных продуктов азотистого обмена. Он состоял в том, что нервно-эмоциональное напряжение в ожидании того или иного воздействия (в процессе воздействия или же сразу после него) на организм в виде возбуждения передавалось с коры головного мозга на гипоталамус и гипофиз. В последнем начинал усиленно продуцироваться адренокортикотропный гормон (АКТГ). Под его влиянием кора надпочечников усиливала продукцию глюкокортикостероидов, суммарный эффект воздействия которых на азотистый обмен, как известно, можно охарактеризовать как катаболический (Selye, 1936, 1950; Селье, 1960; Кремер, 1965).

В проведенных испытаниях наблюдались также значительные индивидуальные колебания уровня энергетического и водного обмена. Наибольшие изменения водного обмена регистрировались у шести испытателей, которые находились в макете космического корабля, рассчитанного на 15-суточный полет. К концу пребывания в макете у этих испытателей развивалась частичная дегидратация, равная в среднем по группе 3 кг. В других наших исследованиях такого нарушения механизмов, регулирующих нормальный уровень водного обмена, не наблюдалось. Так как испытания в макете космического корабля отличались от остальных только измененным суточным ритмом жизнедеятельности испытуемых, эти изменения мы отнесли за счет воздействия этого фактора.

В наших исследованиях было установлено, что величина изменения некоторых показателей обмена веществ (выделение конечных продуктов азотистого обмена, потребность в энергии, водный обмен, иммунная реактивность организма и др.) находилась в прямой зависимости от индивидуальных особенностей испытателей, что связано, по-видимому, с типом их высшей нервной деятельности.

Известно, что потребность организма в определенных пищевых веществах может колебаться довольно значительно (Pett, 1945; Williams, 1956; Mannual, 1957; Malm, 1958; Уильямс, 1960; Lachance, 1961; Birkhead,

1963; Albanese, 1963; Энгель, 1964), особенно при воздействии на организм различных факторов, вызывающих нервно-эмоциональное напряжение. Учитывая существенные различия показателей метаболизма у отдельных индивидуумов, при отборе кандидатов в члены экипажа, наряду с применяемыми в настоящее время методами, целесообразно также исследовать метаболический статус организма как в обычных условиях, так и при предъявлении к нему повышенных требований (воздействие факторов полета).

При отборе следует исключать лиц, у которых будут обнаружены заметные отклонения в метаболизме, значительно изменяющие (увеличивающие) их потребность в тех или иных пищевых ингредиентах, а также индивидуумов, страдающих той или иной ферментной недостаточностью. Примером такой недостаточности может служить дефицит лактазы, при котором организм утрачивает способность использовать лактозу из цельного молока. По данным американских ученых, недостаточность этого фермента довольно широко распространена среди взрослого населения (Vanderveen et al., 1968).

В космонавты следует отбирать таких индивидуумов, у которых воздействие факторов космического полета сопровождается минимальными сдвигами метаболизма. Можно предположить, что эти лица окажутся и наиболее пригодными по другим, используемым при отборе, критериям.

Был также испытан вариант рациона питания, в котором не предусмотрен подогрев пищи. Этот рацион отличался от предыдущего тем, что в нем первые блюда были заменены на пищевые смеси, пригодные к употреблению в холодном виде и вместо применяемого в первом рационе комплекса был включен прием по два драже в день более разнообразного комплекса витаминов «Ундевит».

В результате состав рациона по аналитическим данным стал следующим: белков — 144 г, жиров — 106 г, углеводов — 275 г при калорийности — 2708 ккал. Соотношение белков, жиров и углеводов (по весу) стало 1 : 0,7 : 2. По калорийности белки составляли 21, жиры 36, углеводы — 43%. В связи с увеличением количества белков несколько увеличилось содержание аминокислот, количество основных минеральных элементов было нормальным.

Рацион испытывали в течение 35 суток на шести испытателях, находившихся круглосуточно на обычном режиме жизнедеятельности. Было установлено, что при сохранении вполне удовлетворительного пищевого статуса испытатели получали белков — 2,0±0,1 г, жиров — 1,5±0,1 г, углеводов — 4,0±0,2 г, воды — 33,0±3,9 г, энергии — 38,0±1,8 ккал на 1 кг веса тела ($M \pm mt_{95}$).

Показатели, характеризующие состояние здоровья и уровень обменных процессов организма испытателей находились в пределах физиологической нормы. Более значительная выраженность колебаний большинства показателей в начале испытаний объяснялась адаптацией организма к новым условиям (новый рацион питания и режим жизни); в конце испытаний — реакцией «ожидания окончания испытаний».

Увеличение нормы потребления белка до 2,0 г на 1 кг веса тела в сутки не сопровождалось никакими отрицательными реакциями.

Разработанные рационы питания испытывались также в макетах космических кораблей. При этом испытателей до и после испытаний под-

**Рис. 7. Образцы отдельных видов продуктов рациона питания экипажа космического корабля «Союз-9»**

вергали клинико-физиологическому обследованию. Во время испытаний у них также регистрировали основные физиологические показатели; обмен веществ не изучался.

Основная цель испытаний состояла в исследовании согласованного функционирования всех систем жизненного обеспечения экипажей космических кораблей, в том числе рациона питания, при выполнении испытателями программы, подобной программе реального полета. Основные виды продуктов рациона экипажа корабля «Союз-9» представлены на рис. 7.

На протяжении всех проведенных в макетах космических кораблей исследований у испытателей диспептических расстройств не отмечалось. Аппетит был хорошим и большинство из них весь рацион съедали полностью. Стул был как правило, один раз в 2—3 дня, но иногда и каждый день. В результате проведенных исследований установлено, что испытанные рационы питания хорошо сочетались с остальными системами жизнеобеспечения этих космических кораблей, обеспечивая вполне удовлетворительный пищевой статус испытателей. Они признаны достаточными в количественном и качественном отношении для условий проведенных испытаний и были рекомендованы для использования в условиях реальных космических полетов.

В комплекс мероприятий по обеспечению питанием экипажей космических кораблей, наряду с разработкой рациона и использованием его

на борту, входит также тренировочное питание космонавтов и организация и проведение их пред- и послеполетного питания.

После определения основных и дублирующих экипажей проводится их тренировочное питание штатным бортовым рационом. Во время тренировок космонавты не употребляют другой пищи, так как проверяется переносимость ими каждого из продуктов рациона (отсутствие диспептических расстройств, аллергических реакций и пр.), а также выявляются индивидуальные вкусы. Члены экипажей, кроме того, приобретают определенные навыки по пользованию штатным рационом (вскрытие пакетов, консервных банок, туб, подогревание туб, пользование специальным консервным ножом и вилками).

В предполетном (за 10—15 суток) и послеполетном (3—7 суток) периодах космонавты питаются рационом из свежеприготовленных продуктов, адекватным их потребностям в эти периоды. Рацион готовится специальной группой поваров, имеющих соответствующую квалификацию, под наблюдением врача — специалиста по питанию.

У всех космонавтов перед полетами удавалось поддерживать хороший пищевой статус при сохранении ими постоянного веса. Например, при обеспечении полета космического корабля «Союз-9» в предполетном (13 суток) и послеполетном (3 суток) периодах космонавты питались рационом из свежеприготовленных блюд, содержащим: белков — 100 г, жиров — 100 г, углеводов — 450 г при калорийности 3200 ккал. Они получали также комплекс витаминов, предусмотренный для бортового рациона. Этот рацион питания полностью обеспечивал потребности организма, о чем свидетельствовала стабильность веса тела космонавтов на протяжении всего предполетного периода.

В последующем рационы питания экипажей «Союз-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9» были испытаны в реальных полетах этих космических кораблей (табл. 12).

В будущем следует стремиться к тому, чтобы пред- и послеполетное питание по набору продуктов полностью соответствовало бортовому рациону, так как последний задолго до полета проверяется на переносимость всеми членами экипажа.

На кораблях «Союз-3, 4, 5» использовался рацион питания, сочетающий обезвоженные и консервированные другими методами продукты, рассчитанные на употребление в холодном виде.

У В. А. Шаталова аппетит и жажда были понижены. А. С. Елисеев и Е. В. Хрунов режим питания соблюдали не точно, хотя съели почти все продукты. Все продукты рациона в соответствии с установленным режимом питания съел Б. В. Волынов. Вес тела у всех космонавтов, кроме В. А. Шаталова, снижался примерно в тех же пределах, что и при проведении комплексных испытаний систем жизнеобеспечения на Земле в макетах этих кораблей. У космонавтов, которые съедали рацион питания, сохранился удовлетворительный пищевой статус. Вес тела у них (Б. В. Волынов, А. С. Елисеев, Е. В. Хрунов) практически восстановился в первые дни после приземления, что свидетельствовало о том, что потеря его, в основном, происходила за счет частичной дегидратации организма. Судя по пробе с водной нагрузкой, наибольшее обезвоживание было у В. А. Шаталова, наименьшее — у Б. В. Волынова.

Испытанный рацион питания был адекватен потребностям организма космонавтов в условиях полета. При этом обезвоженные пищевые продукты получили более низкие оценки, по сравнению с консервированными другими методами.



Таблица 12. **Изменения веса тела членов экипажей кораблей «Союз»**

| Номер корабля | Космонавты | Продолжительность полета | Вес тела перед полетом, кг | Снижение веса тела, кг | Снижение веса тела, % к исходному |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | **Г. Т. Береговой** | 3 суток 23 часа 51 мин. | 80,5 | 2,2 | 2,7 |
| 4 | **В. А. Шаталов** | 2 суток 23 часа 21 мин. | 77,7 | 4,1 | 5,1 |
| 5 | **Б. В. Волынов** | 3 суток 00 час. 46 мин. | 77,1 | 1,5 | 1,9 |
| | **А. С. Елисеев** | | 78,0 | 0,5 | 0,6 |
| | **Е. В. Хрунов** | | 70,0 | 0,9 | 1,3 |
| 6 | **Г. С. Шонин** | 4 суток 21 час 42 мин. | 77,1 | 2,5 | 3,2 |
| | **В. Н. Кубасов** | | 73,2 | 2,1 | 2,9 |
| 7 | **А. В. Филипченко** | 4 суток 22 час 19 мин. | 77,4 | 3,9 | 5,0 |
| | **В. В. Горбатко** | | 71,0 | 2,0 | 2,8 |
| | **В. Н. Волков** | | 80,4 | 2,4 | 3,0 |
| 8 | **В. А. Шаталов** | 4 суток 22 час 11 мин. | 78,8 | 2,2 | 2,8 |
| | **А. С. Елисеев** | | 79,1 | 3,6 | 4,5 |
| 9 | **А. Г. Николаев** | 17 суток 16 час 59 мин. | 65,0 | 2,7 | 4,1 |
| | **В. Н. Севастьянов** | | 68,0 | 3,9 | 5,7 |
| | | **Средняя** | **75,2** | **2,5** | **3,3** |

При полетах космических кораблей «Союз-6, 7, 8» испытывали рацион питания с такой же пищевой ценностью, как и предыдущий, но в нем часть обезвоженных продуктов была заменена на аналогичные, но консервированные другими методами. В. А. Шаталов и А. С. Елисеев, летавшие вторично, отметили более высокие вкусовые качества этого рациона. Продукты съедали почти все. Вкусовые качества большинства продуктов были признаны хорошими. Всеми космонавтами рацион был оценен как приемлемый и достаточный для условий полетов. Диспептических расстройств у космонавтов не отмечалось.

Вес тела практически полностью восстановился через трое суток после полета у В. А. Шаталова, В. Н. Кубасова, В. Н. Волкова и В. В. Горбатко, что свидетельствовало о том, что потеря в весе у них происходила в основном за счет частичной дегидратации. У трех остальных космонавтов остался небольшой дефицит веса. Приведенные данные свидетельствуют об адекватности испытанного рациона потребностям организма космонавтов.

На космическом корабле «Союз-9» испытывали несколько измененный, применительно к условиям этого полета [продолжительность, уровень физнагрузки, наличие подогревателя пищи (рис. 8)] рацион питания. В этом рационе была увеличена среднесуточная калорийность, значительно расширен ассортимент пищевых продуктов, особенно мясных консервов, включены блюда в алюминиевых тубах, рассчитанные на употреб-

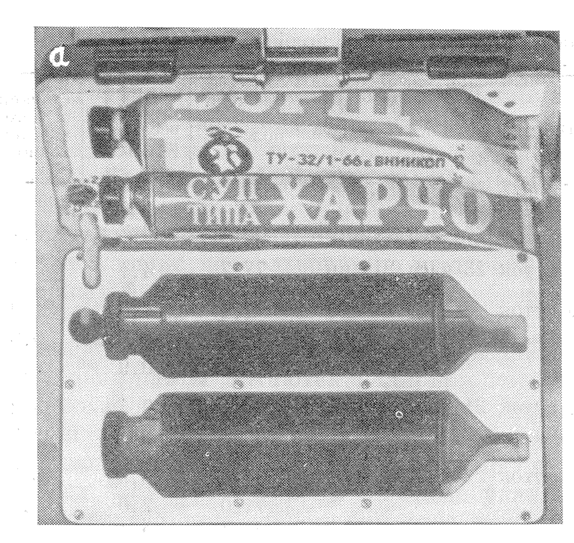
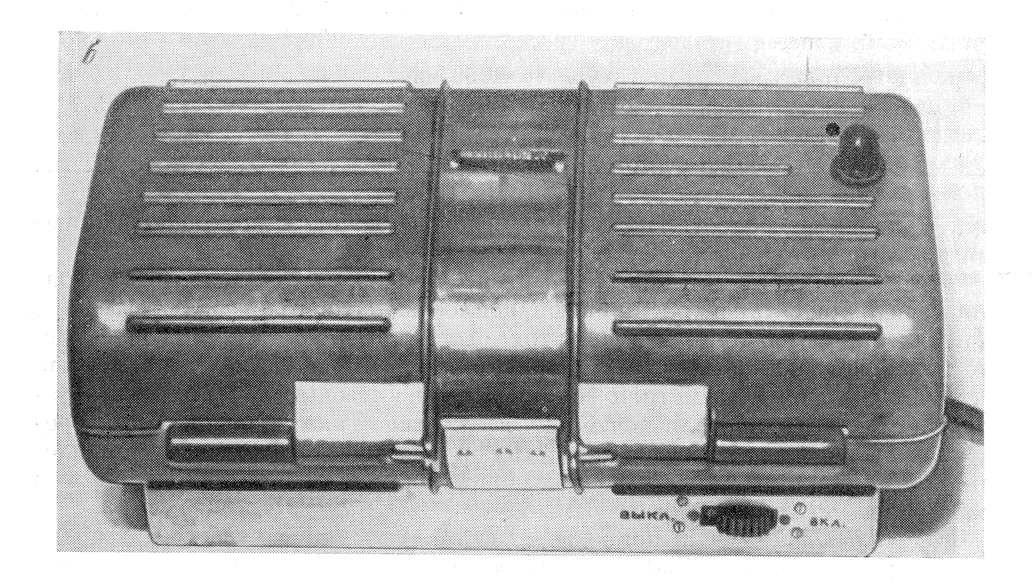



Рис. 8. Подогреватель продуктов, содержащихся в тубах
*а* — раскрытый;
*б* — в рабочем состоянии




ление в горячем виде (первые блюда, кофе, какао), увеличено количество черносмородинового сока и т. п. Космонавты могли заменять некоторые продукты на аналогичные по химическому составу, но с другим вкусом. Было предусмотрено ежедневное (2 раза) употребление по одному поливитаминному драже «Ундевит».

Вес среднесуточного рациона без упаковки составлял около 1460 г. В нем по аналитическим данным содержалось: воды — 853 г, белков — 139 г, жиров — 88 г, углеводов — 345 г, при калорийности 2803 ккал. Белки в рационе составляли 20%, жиры — 30%, углеводы — 50% общей его калорийности. По приемам пищи рацион распределялся следующим



образом: на первый завтрак приходилось 26%, второй завтрак — 21%, обед — 30% и ужин — 23% общей его калорийности. Рацион был сбалансирован по незаменимым аминокислотам и содержал нормальное количество основных минеральных элементов и полиненасыщенных жирных кислот. Усвояемость среднесуточного рациона питания, исследованная в наземных испытаниях, оказалась по белкам равной 90%, по жирам — 97%, по углеводам — 96%, по калорийности — 95%.

В этом полете космонавты так же, как и в предыдущих, неточно соблюдали установленный режим питания, но все отклонения от него были зафиксированы А. Г. Николаевым в бортжурнале. За время полета все продукты рациона были использованы. Только не выпивали примерно по 100 г сока черносмородинового в сутки (130 ккал).

Таким образом, фактически потребляемый рацион питания по калорийности был немного ниже выдаваемого. Вкусовые качества этого рациона были признаны хорошими, особенно понравились горячие блюда и мясные консервы. Диспептических расстройств не было. Работоспособность на всем протяжении полета сохранялась на высоком уровне. Приведенные данные свидетельствуют об адекватности испытанного рациона питания потребностям организма в условиях полета.

Ни у одного из космонавтов в полете не изменялись вкусовые ощущения. В качестве индивидуальных особенностей следует отметить, что у В. Н. Волкова в полете появилось желание съедать больше сладкого, тогда как обычно он предпочитал мясные блюда.

Благоприятный эффект на организм оказывали физические упражнения, после выполнения которых космонавты чувствовали себя бодрыми, и у них значительно повышался аппетит.

В будущих полетах, видимо, целесообразно для космонавтов создавать нормальный суточный режим при оптимальной занятости умственной и физической работой. При этом необходимо предусмотреть достаточное количество времени для приемов пищи с тем, чтобы члены экипажей имели реальную возможность соблюдать предусмотренный режим питания, что явится хорошей предпосылкой для более полной оценки адекватности рациона питания условиям полета.

## СИСТЕМА ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ

Наряду с системами, обеспечивающими поддержание оптимального газового состава в кабинах космических кораблей и восполнение энерготрат членов экипажа, система водообеспечения служит созданию человеку максимально комфортных условий, одним из которых является регулярное снабжение свежей питьевой водой.

Наличие на борту космического корабля запасов воды, взятых с Земли, позволяет использовать для этой цели самые высококачественные водоисточники, однако длительное сохранение высоких питьевых качеств воды на исходном уровне является одной из трудностей космического водообеспечения.

К числу важнейших проблем водообеспечения космических кораблей и орбитальных станций в условиях длительного хранения запасов воды относится гарантирование бактериологической безопасности воды на основе использования эффективного метода консервации.

Кроме того, немаловажное значение имеет выбор оптимальных вариантов систем водообеспечения. Успешное решение этой проблемы в значительной мере зависит от уровня методики исследований и, в частности, методических подходов, используемых при гигиенической оценке воды, взаимодействующей с консервантом и материалом тары.

Внедрение новых видов материалов и их внутренних покрытий, апробация различных консерватов требовали совершенствования методики изучения основных показателей качества воды после длительного хранения во вновь создаваемых изделиях.

Стала необходимой объективная информация об органолептических, физических, химических, бактериологических свойствах воды, длительно находящейся в системах, а также о ее безвредности для организма человека. Поэтому при выборе гигиенических критериев качества воды основополагающей была их надежность, информативность, хорошая воспроизводимость, достаточная чувствительность.

Основными среди используемых нами гигиенических характеристик являются апробированные гигиенистами и внесенные в ГОСТ тесты.

Помимо этого контроль за качеством воды включал избирательное определение содержания веществ, которые могли мигрировать в воду из материалов тары и дополнялся определением количества различных видов вводимых консервантов.

В процессе разработок новых систем водообеспечения, перспективных для космических кораблей типа «Союз», и подборе консервантов проводилось определение физических, органолептических, санитарно-химических, бактериологических, токсикологических показателей качества воды.

Схема гигиенического исследования воды, представленная в табл. 13, применялась нами при разработке методов консервации и определения допустимых сроков хранения воды.

Анализ данных, приведенных в табл. 13, свидетельствует о том, что гигиенические требования к качеству питьевой воды как на этапе предполетной подготовки, так и после длительного хранения ее в системах водообеспечения достаточно высоки. Это отвечает основной задаче гигиенистов — обеспечить космонавтов на всем протяжении полета высококачественной питьевой водой, чтобы создать для них привычные земные условия питьевого комфорта и исключить какую-либо возможность неблагоприятного воздействия на организм.

При выборе метода консервации воды основополагающими принципами были следующие: продолжительное и надежное антимикробное действие, стабилизация вкусовых и физико-химических показателей, отсутствие взаимодействия с материалом тары, отсутствие токсического влияния на организм человека, пригодность использования в условиях системы водообеспечения корабля «Союз».

Такие физические методы обеззараживания воды, как ультрафиолетовое облучение, ультразвук, только отчасти удовлетворяют упомянутым требованиям, так как лишены эффекта последействия и, следовательно, не обеспечивают стабилизации основных показателей качества воды при длительном ее хранении и не могут гарантировать бактериологическую надежность в случае вторичного загрязнения воды.

Несомненный интерес представляют реагентные методы обеззараживания. Препараты хлора широкого применения в целях консервации не



Таблица 13. **Нормативы качества и методы их определения в консервированной питьевой воде**

| Показатель | В период предполетной подготовки | После длительного хранения | Методы определения |
|---|---|---|---|
| **pH** | 6,5—9,5 | 6,5—9,5 | Электрометрический |
| **Прозрачность, см** | ⩾30 | ⩾30 | По шрифту Снеллена |
| **Цветность, градусы** | ⩽20 | ⩽20 | Сравнением с имитирующей окраску воды шкалой |
| **Запах при 20°, баллы** | 0 | ⩽3 | Органолептический |
| **Вкус при 20°, баллы** | 0 | ⩽2 | » |
| **Жесткость общая, мг·экв/л** | 7,0 | 7,0 | Комплексонометрический с трилоном «Б» |
| **Содержание, мг/л** | | | |
| кальция | 100 | 100 | Тот же |
| магния | 50 | 50 | » |
| сульфат-иона | 200 | 200 | » |
| хлор-иона | 200 | 200 | Титрометрический с азотнокислым серебром или азотнокислой ртутью |
| азота аммиака | 1,0 | 2,0 | Колометрический с реактивом Несслера |
| азота нитритов | До 0,1 | 0,1 | Колориметрический с сульфаниловой кислотой и нафтиламином |
| азота нитратов | 2,3 | 10 | Колориметрический с дифенолсульфокислотой или с салициловой кислотой |
| ионного серебра | 0,2±0,02 | 0,02 | Колориметрический с детизоном |
| алюминия | 1,0 | 300 | Колориметрический с алюминоном |
| **Окисляемость, мг $O_2$/л** | | | |
| перманганатная | 10,0 | 15,0 | Кипячение с марганцевокислым калием |
| бихроматная | ⩽25,0 | 50 | Кипячение с бихроматом калия |
| **Коли-титр** | ⩾500 | ⩾500 | Посев на селективную среду |
| **Число бактерий в 1 мл** | ⩽100 | ⩽100 | Посев на мясо-пептонный агар |

получили. Основными причинами этого явились необходимость применения высоких доз хлора, резко меняющих органолептические свойства воды, и возможность появления резистентных к хлору штаммов различных микроорганизмов (Черкинский и др., 1962; Кульский, 1963; Сологуб, 1963; Сергеев, 1965).

За последние 10 лет в практике водоснабжения все большее распространение получает метод обработки воды электролитическими растворами серебра (Кульский, 1963; Чижов и др., 1973).

В основе разработки любого метода консервации лежит необходимость определения бактерицидной активности обеззараживающего агента как при одномоментном, так и при длительном воздействии.

Изучение бактерицидного действия различных препаратов серебра методом бактериальной нагрузки показало их высокую эффективность. Уже в течение одного часа после внесения в воду культуры E. coli наблюдалась ее гибель на 84—96%. Через 6 час. во всех исследованных образцах воды погибала вся имеющаяся микрофлора.

Сравнительное изучение консервирующих свойств препаратов серебра — кумазина (50—100 мг/л), азотнокислого серебра (1,5—2 мг/л, и электролитических растворов серебра (0,1; 0,2 и 0,5 мг/л) позволило выявить у последнего ряд преимуществ (табл. 14).

Так, при использовании кумазина отмечалось накопление нитритов, а также увеличение хлоридов и возрастание окисляемости, что объясняется наличием в его составе хлорсодержащих органических веществ.

При консервации азотнокислым серебром отмечено увеличение азота нитратов в воде, обусловленного введением его в составе консерванта.

Надежный консервирующий эффект обеспечивался кумазином в дозе 50 мг/л, азотнокислым серебром в дозе 1,5 мг/л и ионным серебром в дозе 0,1 мг/л. При этом установлено, что в дозе кумазина 50 мг содержится 10 мг серебра, в 1,5 мг азотнокислого серебра — 0,9 мг серебра.

Следовательно, ионное серебро обеспечивает одинаковый с кумазином и азотнокислым серебром бактерицидный эффект при наименьшем содержании серебра.

Таблица 14. **Физико-химические свойства воды, консервированной различными препаратами серебра после длительного хранения**

| Показатель | Кумазин, 50 г/л | Азотнокислое серебро, 1,5 мг/л | Ионное серебро, 0,1 мг/л | Кумазин, 50 г/л | Азотнокислое серебро, 1,5 мг/л | Ионное серебро, 0,1 мг/л |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Через 3 месяца** | | | **Через 6 месяцев** | | |
| **pH** | 7,4 | 7,4 | 7,2 | 7,4 | 7,4 | 7,3 |
| **Запах, баллы** | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 |
| **Вкус, баллы** | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 |
| **Прозрачность, см** | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| **Цветность, градусы** | 15 | 15 | 10 | 15 | 15 | 10 |
| **Жесткость общая, мг·экв/л** | 2,2 | 2,18 | 2,2 | 2,04 | 2,2 | 2,26 |
| **Содержание мг/л** | | | | | | |
| кальция | 30,4 | 30,4 | 30,8 | 30,4 | 30,06 | 30,06 |
| магния | 7,12 | 8,26 | 8,2 | 7,12 | 8,26 | 8,1 |
| сульфатов | 29,0 | 28,4 | 29,2 | 29,2 | 2,0 | 28,4 |
| хлоридов | 36,1 | 21,4 | 12,4 | 35,48 | 21,4 | 12,46 |
| азота аммиака | 0,55 | 0,7 | 0,35 | 0,6 | 0,8 | 0,4 |
| азота нитритов | 0,018 | 0,012 | 0,013 | 0,017 | 0,0125 | 0,010 |
| азота нитратов | 0,3 | 0,6 | 0,3 | 0,35 | 0,7 | 0,03 |
| **Окисляемость перманганатная, мг $O_2$/л** | 6,5 | 5,8 | 4,8 | 6,9 | 5,7 | 4,8 |
| **Число бактерий в 1 мл** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |



Преимущества ионного серебра в отношении стабилизации физико-химических и органолептических показателей качества воды при хранении ее в различной таре позволили рекомендовать этот консервант для использования на космических кораблях «Союз».

В процессе внедрения метода электролитического серебрения в практику водообеспечения на кораблях «Союз» мы расширили сферу возможного его применения, предложив использование его при отмывке и обеззараживании отдельных элементов системы водообеспечения. Такая обработка позволяла хранить систему в течение длительного времени в незаправленном состоянии.

Однако некоторые конструктивные материалы из сплавов алюминия (АМГ) оказались несовместимыми с серебром вследствие активной коррозии и появления осадка гидроокиси алюминия в консервированной воде. В дальнейшем был подобран соответствующий сплав (АМЦ) и применено эматалирование внутренней поверхности емкостей, что позволило в течение длительного времени (до 6 месяцев) хранить в них воду.

В процессе конструктивных разработок системы водообеспечения для кораблей «Союз» пытались использовать в качестве емкостей для воды эластичные мешки с внутренним покрытием из пищевой резины. Однако этот материал придавал воде неприятный запах и привкус, обладал малой механической прочностью и имел другие недостатки. Срок хранения воды в такой системе ограничивался 5—7 днями. Более приемлемым материалом оказался полиэтилен высокого давления, как обладающий химической инертностью и достаточной механической прочностью.

Одним из последствий взаимодействия консерванта с материалом тары является его пристеночная сорбция, что влечет за собой и некоторое снижение бактерицидной активности консервированной воды. Сорбция серебра зависит от продолжительности контакта воды с материалом тары и от свойств данного материала (рис. 9). Так, в течение первого месяца хранения в стеклянной таре содержание серебра в воде уменьшается в среднем на 20%, что не оказывает заметного влияния на бактерицидную активность консервированной воды. Вместе с тем при длительном хранении до 1—3 лет консервированной воды, наблюдающееся снижение концентрации ионов серебра в 20 раз влечет за собой отчетливое замедление (до 24 час.) процесса полного отмирания микрофлоры при искусственном заражении воды.

Интенсивность процесса сорбции серебра на стенках емкости для воды связана со свойствами конструктивных материалов последней. Нами было исследовано взаимодействие с консервированной водой таких материалов, как полиэтилен, фторопласт, алюминиевые сплавы и нержавеющая сталь.

Наиболее активно процесс сорбции серебра идет на поверхности полиэтилена, из которого выполнены мягкие емкости системы водообеспечения космических кораблей «Союз». При этом меняются и физико-химические свойства воды.

Так, при 6-месячном контакте воды, консервированной 0,1 мг/л ионного серебра, с полиэтиленовой пленкой происходило увеличение суммарного содержания растворимых органических примесей. Одновременно было отмечено и некоторое ухудшение органолептических показателей. Однако степень этих изменений не выходила за пределы стандартов, установленных для питьевой воды.

Наиболее благоприятные результаты были получены при исследовании воды, контактирующей с тарой из пленки Ф-26 и сплавов алюминия с эматалированным покрытием.

Для кратковременного хранения воды, консервированной ионным серебром, можно рекомендовать тару из полиэтилена высокого давления, а для продолжительного (до нескольких месяцев) — более целесообразно использовать такие материалы, как полимеры из группы фторопласта и металлические контейнеры из алюминиевых сплавов АМЦ с эматалированным покрытием.

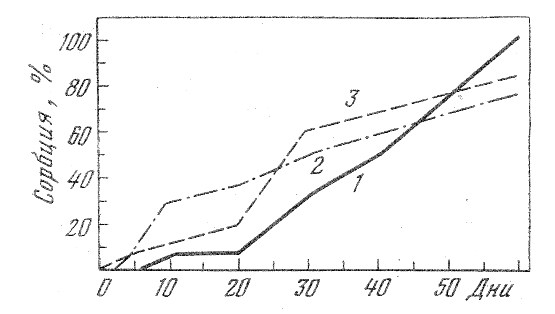



**Рис. 9. Динамика сорбции серебра на различных материалах**

*1* — пленка полиэтиленовая; *2* — пленка фторопластовая; *3* — сплав алюминия эматалированный

Исследование процесса сорбции серебра в условиях реальных систем водообеспечения кораблей «Союз» послужило основанием для увеличения исходной консервирующей дозы серебра с 0,1 мг/л до 0,2 мг/л, так как за время предстартовой подготовки корабля концентрация ионов серебра снижается на 15—20%. Таким образом, количество консерванта, поступающего в организм человека с водой, будет находиться в допустимых пределах.

Было проведено исследование о влиянии ионов серебра на организм животных.

Оказалось, что ионное серебро в дозах 0,1 и 0,2 мг/л, обеспечивающих надежный консервирующий эффект, не накапливается в тканях при длительном введении и не оказывает какого-либо неблагоприятного влияния на состояние организма. Кроме того, нами велись наблюдения за процессом накопления в организме животных серебра при введении его в дозах, в 200 и 500 раз превышающих консервирующую. Было выявлено накопление серебра в тканях животных спустя 6 месяцев после введения 20 мг/л электролитического серебра. При дозе 50 мг/л процесс накопления серебра выявлялся раньше — к первому, второму месяцам введения. При гистохимическом исследовании было установлено наибольшее скопление зерен серебра в печени и слизистой оболочке тонкого и толстого кишечника. Кроме того, серебро было обнаружено в капиллярах поджелудочной железы, слезных желез, а также в тканях паращитовидных желез. Ни у одного из исследованных животных не удалось обнаружить отложение серебра в почках и головном мозгу, хотя многие авторы считают, что наблюдаемая ими пигментация этих органов является одним из характерных признаков аргирии (Olcott, 1947; Putzke et al., 1966).

Не было обнаружено и каких-либо структурных или дистрофических изменений во внутренних органах животных, лишь у отдельных крыс в слизистой оболочке тонкого кишечника вокруг зерен серебра выявлялась продуктивная воспалительная реакция; активность щелочной фосфатазы в срезах тонкого кишечника при этом не менялась.



Таким образом, даже при введении массивных доз серебра в организм животных не было выявлено его токсического влияния.

В результате проведенных работ по изысканию методов консервации воды применительно к условиям космических полетов кораблей «Союз» был рекомендован и внедрен метод с использованием электролитических растворов серебра.

Исследования, проведенные в условиях автономных и комплексных испытаний системы водообеспечения, а также в реальных полетах кораблей «Союз», показали, что метод консервации воды ионным серебром в дозе 0,2 мг/л обеспечил полное соответствие показателей качества воды санитарно-гигиеническим нормам в пределах сроков, предусмотренных программой полетов (табл. 15).

Вода, консервированная ионным серебром, во всех полетах кораблей «Союз» получила положительную оценку космонавтов.

В процессе подготовки космических кораблей «Союз» было отработано несколько вариантов систем водообеспечения, основанных на запасах. Один тип — это жесткие контейнеры с заключенными в них мягкими мешками из полимерных материалов. Другой тип — металлические емко-

Таблица 15. **Результаты послеполетного исследования воды из систем водообеспечения космических кораблей «Союз-3,4,5,6,7,8»**

| Показатель | «Союз-3» | «Союз-4» | «Союз-5» | «Союз-6» | «Союз-7» | «Союз-8» |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **pH** | 7,4 | 7,4 | 7,4 | 7,3 | 7,3 | 7,3 |
| **Прозрачность, см** | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| **Цветность, градусы** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| **Запах, баллы** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Вкус, баллы** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Жесткость, мг·экв/л** | 3,3 | 3,4 | 2,64 | 2,64 | 2,64 | 2,64 |
| **Содержание, мг/л** | | | | | | |
| кальция | 55,2 | 49,69 | 47,2 | 38,47 | 38,47 | 38,47 |
| магния | 9,24 | 10,2 | 11,9 | 8,75 | 8,75 | 8,75 |
| сульфат-ионов | 39,4 | 34,4 | 34,4 | 28,8 | 28,8 | 28,8 |
| хлор-ионов | 11,36 | 11,36 | 10,25 | 11,36 | 11,36 | 11,36 |
| азота аммиака | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| азота нитритов | 0,015 | 0,011 | 0,015 | 0,028 | 0,015 | 0,022 |
| азота нитратов | 0,62 | 0,62 | 0,75 | 0,38 | 0,38 | 0,38 |
| ионного серебра | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| **Окисляемость, мг$O_2$/л** | | | | | | |
| перманганатная | 4,36 | 5,3 | 5,48 | 4,48 | 4,48 | 4,48 |
| бихроматная | 18,42 | 20,3 | 21,1 | 18,63 | 18,65 | 18,64 |
| **Число бактерий в 1 мл** | 15 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| **Коли-титр** | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |

сти с различным антикоррозийным покрытием (пищевой лак, поливинилбутираль, эматалирование, напыление полиэтилена).

Изменение конструктивных особенностей систем водообеспечения, внедрение новых видов материалов тары и внутренних покрытий требовало проведения санитарно-химических исследований, имевших своей целью установить пригодность вновь созданных изделий для хранения запасов питьевой воды в соответствии с гигиеническими требованиями.

Были гигиенически обоснованы преимущества сферических емкостей из сплава АМЦ со специальным антикоррозийным покрытием перед мягкими полиэтиленовыми мешками, заключенными в металлический контейнер.

Наблюдения за изменением физико-химических и бактериологических показателей воды в процессе ее хранения в различных системах, предназначенных для кораблей «Союз», показали, что вода, консервированная ионным серебром в концентрации 0,2 мг/л, претерпевает изменения, затрагивающие не в одинаковой мере все исследуемые показатели.

В результате были предложены изменения методики гигиенического исследования воды, предназначенной для создания запасов на борту космического корабля. Целесообразнее оказалось использовать такие показатели, как органолептические свойства (вкус, запах, цветность, прозрачность), окисляемость (по перманганату), содержание аммиака, нитритного азота и серебра, число бактерий.

Вместе с тем показатели солевого состава (содержание магния, кальция, сульфатов, хлоридов, общей жесткости) в процессе хранения консервированной воды достаточно стабильны, и поэтому наблюдение за их изменением при повседневном контроле не представляет большой прогностической ценности.

Важнейшим этапом, определяющим длительное сохранение питьевых качеств консервированной воды, находящейся в системе, являлась предварительная отмывка мягкой емкости от механических примесей и обеззараживание ее внутренней поверхности по определенной методике.

Проведенные испытания систем водообеспечения в комплексе с другими системами жизнеобеспечения в макете корабля «Союз» показали возможность длительного (в таре из полиэтилена до 100 суток, в сферических емкостях из сплава АМЦ — до 180 суток) хранения воды при осуществлении космических полетов на кораблях типа «Союз».

Экспериментальные исследования по разработке методов обеззараживания и консервации воды в системах водообеспечения кораблей «Союз» позволили наметить наиболее перспективные направления в использовании этих методов и для других космических объектов.

Система водообеспечения корабля «Союз» заполнялась питьевой консервированной водой из расчета 1,68 л воды на человека в сутки.

Эта норма водопотребления была установлена на основании исследования водного баланса человека в макете корабля «Союз».

Трудность нормирования водопотребления состоит в том, что на организм человека в космическом полете воздействует комплекс факторов: невесомость, перегрузки, ограниченный гермообъем, искусственная газовоздушная среда, перепады давления и температуры окружающей среды. В то же время значимость каждого из факторов для состояния гидратационного уровня организма в качественном и особенно количественном выражении к настоящему времени не установлена. Кроме того, известно, что в условиях космического полета происходит извращение некоторых рефлекторных явлений, например, понижается чувство жажды и аппетита (Celentano et al., 1963; Gee et al., 1968).



Отсюда конкретные условия каждого космического объекта могут обусловить различия в нормах и режиме водопотребления. Критерием оценки состояния жидкостного уровня в организме является его водный баланс, т. е. соотношение между количеством поступающей и выводимой с влагосодержащими продуктами жизнедеятельности воды.

Изучение водного баланса человека в наземных условиях, имитирующих факторы космического полета, является одной из предпосылок научного нормирования водопотребления в космическом полете.

Наиболее объективное представление по количественной характеристике конденсата атмосферной влаги дают исследования в замкнутых гермообъемах.

Исследование водного баланса в испытаниях, проводимых в гермокамерах, позволяют определить потребность человека в воде для конкретных микроклиматических условий и уровня физической нагрузки.

Нами было установлено, что в среднем, при калорийности рациона 3000 ккал, температуре окружающей среды 16—25°, энергозатратах 2500—2900 ккал суммарное количество выделяемой с потом, неощутимой перспирацией и конденсатом легочных паров влаги находится в пределах 1200—1400 мл на человека в сутки.

Подобные же данные приводятся и другими исследователями (Welch et al., 1961; Нефедов и др., 1966; Hansen et al., 1965; Wallman, 1963).

В этих же условиях количество экскретируемой мочи колеблется в среднем от 800 до 1000 мл на человека в сутки. Таким образом, суммарное влаговыделение с учетом влаги фекалий составляет в среднем около 2500 мл. Соответствующий этому уровень водопотребления включает 1,4—1,6 л питьевой воды, что позволяет сохранить водное равновесие в организме испытателей, о чем свидетельствует отсутствие у них значительной потери веса за время испытаний.

В испытаниях с участием человека, проведенных в макете корабля «Союз», при повышении температуры воздуха внутри макета до +30° количество конденсата атмосферной влаги увеличивается до 2100 мл/сутки на человека.

Подобное же повышение потоотделения и перспирации наблюдалось при увеличении физической нагрузки, обусловленном трудоемкими операциями, связанными с подготовкой к выходу в «космос», такими как одевание скафандра.

В таких измененных условиях потребление питьевой воды в количестве 1,4—1,6 л не предотвращает наступления водного дефицита — потеря в весе за 1,5 часа работы у двух испытателей достигала 2,75—2,25 кг, или 3,9 и 3,3% соответственно.

Однако и в результате проведения реальных полетов установлено, что у космонавтов, употреблявших жидкость в этих же количествах, наблюдалась потеря веса тела до 2—3 кг, обусловленная главным образом дегидратацией организма, наступающей в первые сутки полета под воздействием факторов космического полета.

Состояние обезвоживания являлось одной из причин, приводящих к ортостатической неустойчивости космонавтов в период перехода к условиям земной гравитации. Поэтому в настоящее время некоторые исследователи предлагают для условий реального полета более высокие нормы водопотребления — до 2700—3200 мл, из них 1700—2200 мл только питьевой воды в сутки, и рекомендуют соблюдать этот питьевой режим даже при отсутствии чувства жажды (Berry, 1966).

Для направленного воздействия на жидкостный уровень организма необходим комплекс мероприятий, включающий режим водо- и солепотребления, физическую нагрузку и введение фармакологических препаратов. Существующая в настоящее время норма водопотребления 2100 мл в сутки на человека может считаться достаточной при полетах продолжительностью до 5 суток, поскольку соответствует суточным влагопотерям организма, что подтверждено при полете Г. Т. Берегового на корабле «Союз-3».

Кроме того, анализ данных водно-солевого баланса экипажей кораблей «Союз-3, 4, 5» показал, что на степень дегидратации большое влияние оказывает состояние водного равновесия космонавта накануне полета (Григорьев, Козыревская, 1970). Степень обезвоживания тем меньше, чем лучше был гидратирован организм. Немаловажную роль играет индивидуальная склонность к потреблению воды и соли.

Известно, что уже в первые сутки полета у наших космонавтов и американских астронавтов наблюдался водный дефицит величиной 2%.

Следовательно, чтобы степень обезвоживания не достигала критических пределов и, учитывая наступающее в этих условиях притупление чувства жажды, необходимо для космонавтов предусмотреть принудительное питье в количестве не менее 1,7 л в сутки с тем, чтобы в момент выполнения заданий, сопряженных с массивными энерготратами и влагопотерями, не нарушалось водное равновесие. Этому может способствовать специально подобранный солевой режим, предусматривающий дозированное введение натрия и калия.

Таким образом, разработанный метод консервации воды обеспечивал надежное и продолжительное антимикробное действие, стабилизацию вкусовых и физико-химических показателей воды, химическую инертность по отношению к материалу тары на всем протяжении полета космических кораблей «Союз», включая время предстартовой подготовки.

Консервирующий агент, ионное серебро, не оказывал неблагоприятного влияния на организм человека.

Положительные результаты экспериментальной проверки метода консервации воды и схемы предполетной подготовки систем водообеспечения в реальном космическом полете кораблей «Союз» позволили рекомендовать этот метод для других космических объектов, рассчитанных на более длительный срок функционирования.

Рекомендованная для кораблей «Союз» норма потребления питьевой воды 1,7 л может считаться достаточной при условии равномерного и полного ее использования космонавтами на протяжении всего полета. Это позволит сохранить водное равновесие в организме человека в условиях космического полета.

# Глава 5. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКИПАЖЕЙ КОРАБЛЕЙ «СОЮЗ»

Обеспечение радиационной безопасности экипажей, наряду с выполнением других медико-биологических требований к системам по обеспечению жизнедеятельности космонавтов, является обязательным условием успешного выполнения любого пилотируемого полета. На кораблях «Союз» был предусмотрен комплекс необходимой аппаратуры и средств противорадиационной защиты, а во время полета функционировала служба радиационной безопасности, обеспечивающая необходимый контроль радиационной обстановки как в корабле, так и на трассе его полета. Сопоставление реальных уровней радиационного воздействия с разработанными для таких полетов нормативами позволяет оценить степень радиационной опасности для космонавтов во время каждого полета и гарантировать минимальный риск облучения экипажей кораблей.

## ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ОРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ

В настоящее время рассматриваются следующие источники ионизирующего излучения в космосе: галактическое космическое излучение (ГКИ); излучение радиационных поясов Земли (ИРПЗ); излучение солнечных вспышек (ИСВ).

Кроме того, в настоящее время необходимо учитывать четвертый источник излучения — это бортовые изотопные источники, которые проектируются самим человеком и могут в зависимости от поставленной цели быть различными по своей активности, режиму работы и т. д. Наконец, в околоземном космическом пространстве существует образовавшийся в результате испытаний ядерного оружия искусственный радиационный пояс Земли.

Галактическое космическое излучение (ГКИ) представляет собой поток высокоэнергетических заряженных частиц и состоит из протонов (~85%), альфа-частиц (~13%) и более тяжелых ядер (~2%). Максимальная энергия частиц ГКИ может достигать $10^{20}$ эв. Угловое распределение ГКИ принято считать изотропным. Распределение поглощенной дозы в теле космонавтов будет почти равномерным.

Энергетические спектры ГКИ не меняются сколько-нибудь значительно в течение длительного времени и не превышают нескольких процентов. Вместе с тем происходят некоторые изменения интенсивности ГКИ, связанные с солнечной активностью: с увеличением активности солнца интенсивность ГКИ уменьшается.

Дозы ГКИ в околоземном пространстве меньше, чем в межпланетном. Это обусловлено двумя причинами — экранирующим влиянием Земли и геомагнитным эффектом. Экранирующее влияние Земли уменьшает поток ГКИ примерно в два раза. За счет геомагнитного поля поток ГКИ вблизи Земли может снизиться в 3—10 раз. На сравнительно небольших высотах доза ГКИ существенно зависит от угла наклона плоскости орбиты. Например, если орбита расположена на высоте 200—700 км, то доза на экваториальной орбите примерно в пять раз ниже, чем на полярной; с увеличением высоты орбиты эта разница постепенно уменьшается.

Тяжелые ядра ГКИ вносят существенный вклад в дозу — до 87—92%. Нельзя не учитывать «ядерную добавку» или «феномен накопления», т. е. дозовый вклад вторичных частиц, образующихся в результате ядерных взаимодействий ГКИ с веществом защиты в конструкциях кораблей и в тканях человека, который может составить довольно значительную величину. Оценка показывает, что вклад вторичного излучения в суммарную поглощенную дозу может достичь 50—100% (Дудкин и др., 1964, 1967; Бобков и др., 1964).

Величина мощности доз ГКИ, по данным В. Е. Дудкина и соавт. (1967), для орбиты, расположенной на высоте до 250—300 км с наклоном к плоскости экватора 65° с учетом вторичных излучений равна 8—10 мрад/сутки. Эти расчеты хорошо согласуются с данными непосредственных измерений, сделанных при полете кораблей «Восток», «Восход», «Джемини» и «Аполлон» (табл. 16).

**Радиационные пояса Земли.** Первоначально было принято разделять радиационные пояса Земли (РПЗ) на внутренний и внешний. При этом учитывалось различие в пространственном расположении поясов и в спектрах заряженных частиц. В настоящее время считается, что существует единый РПЗ. В связи с этим понятия «внутренний» и «внешний» РПЗ следует рассматривать как условные.

Внутренний РПЗ в Западном полушарии начинается на высоте 500—600 км над поверхностью Земли, а в Восточном — на высоте около 1500 км. Условно внешняя граница пояса находится на расстоянии около 5000—10 000 км от поверхности Земли. Аномалии магнитного поля Земли оказывают определенное влияние на внутренний РПЗ. Так, над южной частью Атлантического океана нижняя граница пояса из-за влияния магнитной аномалии снижается до высоты около 300 км.

Внутренний РПЗ состоит в основном из протонов больших энергий, а также электронов и легких ядер лития и гелия. Интенсивность потока протонов достигает в первом максимуме $2 \cdot 10^4$ протон$\cdot$см$^{-2} \cdot$сек$^{-1}$, во втором — около $5 \cdot 10^3$ протон$\cdot$см$^{-2} \cdot$сек$^{-1}$.

При оценке радиационной опасности протонов внутреннего РПЗ предполагают, что максимальная поверхностная доза и среднетканевая доза при защите более 1 г$\cdot$см$^{-2}$, когда практически не сказывается низкоэнергетическая аномальная компонента, различаются не более, чем в три раза.

Мощность среднетканевой дозы в максимуме внутреннего РПЗ (на высоте 2500—3500 км на экваториальной плоскости) за защитой 10 г$\cdot$см$^{-2}$ Al составит около 50 бэр/сутки. На орбитах высотой до 500 км среднетканевая доза за сутки независимо от угла наклона плоскости орбиты не



Таблица 16. **Индивидуальные дозы космического излучения, зарегистрированные в орбитальных полетах на кораблях «Восток», «Восход», «Джемини», «Аполлон»**

| Корабль | Дата запуска | Параметры орбиты, км | | Длительность полета | Средняя доза за полет, мрад |
|---|---|---|---|---|---|
| | | апогей | перигей | | |
| «Восток» | 12.IV 1961 | 327 | 181 | 1 час 48 мин. | 2,0 |
| «Восток-2» | 6.VIII 1961 | 244 | 183 | 25 час | 11,0 |
| «Восток-3» | 11.VIII 1962 | 234,6 | 180,7 | 3 суток 22 часа | 62,0 |
| «Восток-4» | 12.VIII 1962 | 236,7 | 179,8 | 2 суток 23 часа | 46,0 |
| «Восток-5» | 14.VI 1963 | 222,1 | 174,7 | 4 суток 23 часа | 80,0 |
| «Восток-6» | 16.VI 1963 | 231,1 | 180,9 | 2 суток 23 часа | 44,0 |
| «Восход» | 12.X 1964 | 408 | 177,5 | 24 часа | 30,0 |
| «Восход-2» | 18.III 1965 | 497,7 | 173,5 | 1 сутки 2 часа | 60,0 |
| «Джемини-3» | 23.III 1965 | 240 | 160 | 5 часов | 30,0 |
| «Джемини-4» | 3.VI 1965 | 281 | 162 | 4 суток 1 час | 46,0 |
| «Джемини-5» | 21.VIII 1965 | 303 | 197 | 7 суток 23 часа | 176,0 |
| «Джемини-6» | 15.XII 1965 | 271 | 258 | 1 сутки 2 часа | 25,0 |
| «Джемини-7» | 4.XII 1965 | 321 | 215 | 13 суток 19 час | 164,0 |
| «Джемини-8» | 16.III 1966 | 265 | 150 | 11 час | 10,0 |
| «Джемини-9» | 3.VI 1966 | 272 | 270 | 3 суток 1 час. | 19,0 |
| «Джемини-10» | 18.VII 1966 | 268 | 160 | 2 суток 23 часа | 720,0 |
| «Джемини-11» | 12.IX 1966 | 280 | 161 | 2 суток 23 часа | 28,0 |
| «Джемини-12» | 11.XI 1966 | 310 | 243 | 3 суток 23 часа | 20,0 |
| «Аполлон-7» | 11.X 1968 | 297 | 231 | 11 суток | 160,0 |
| «Аполлон-9» | 3.III 1969 | 229 | 203 | 10 суток | 200,0 |

Примечание. Наклон орбиты для кораблей «Восток» и «Восход» — 65°, для кораблей «Джемини» — 33°, «Аполлон» — 31—33°.

будет превышать 0,16 бэр/сутки. Учитывая вторичные излучения от взаимодействий электронов и протонов с материалом оболочек космического корабля, можно ожидать, что при пролете внутреннего РПЗ космонавты могут подвергаться облучению с мощностью дозы от 10 до 20 рад/час, однако опасности это не представляет, так как доза облучения не превысит нескольких бэр.

Внешний РПЗ занимает бóльшую часть околоземного пространства от 10 000 и 50 000 км над экватором и опускается до 300 км на широтах 55—70°, простираясь на расстоянии десятков тысяч километров от поверхности Земли. Внешний РПЗ состоит из потоков электронов и низкоэнергетических протонов. В центре РПЗ за защитой 1 г$\cdot$см$^{-2}$ Al мощность дозы на поверхности тела составит около 40 рад/сутки.

**Излучение солнечных вспышек** состоит в основном из протонов различных энергий и альфа-частиц. Наиболее интенсивные потоки альфа-частиц были обнаружены во время солнечной вспышки 12 ноября 1960 г. За защитой 1 г$\cdot$см$^{-2}$ Al дозовый вклад альфа-частиц составил около 31%. При некоторых вспышках были обнаружены тяжелые частицы вплоть до ядер аргона. По существующим оценкам поток тяжелых заря-

женных частиц при солнечных вспышках составляет менее 0,1%. Протонное излучение солнечных вспышек может существенно отличаться от вспышки к вспышке по жесткости спектра (от нескольких Мэв до десятков Гэв) и по величине их полного потока.

Солнечные вспышки условно разбиваются на три группы:

1 группа — мощные высокоэнергетические вспышки, при которых генерируются частицы с энергиями до нескольких десятков Гэв. Вторичное излучение от этих вспышек регистрируется на Земле. К этой группе относятся вспышки 28 февраля 1942 г.; 7 августа 1942 г.; 25 июля 1946 г.; 19 ноября 1949 г.; 23 февраля 1956 г.

2 группа — вспышки, приводящие к генерации космических лучей с энергиями до нескольких Гэв. К хромосферным вспышкам такого типа относятся вспышки 10 июля 1959 г.; 16 июля 1959 г.; 12 ноября 1960 г.

3 группа — низкоэнергетические вспышки, генерирующие космические лучи с энергией в несколько десятков и до сотен Мэв сравнительно небольшой интенсивности. Эти вспышки более часты и к ним относятся вспышки 22 сентября 1958 г.; 10 мая 1959 г. и 14 июля 1959 г.

Частота возникновения солнечных вспышек зависит от фазы солнечного цикла. С 1964 по 1975 г. прошел 20-й цикл солнечной активности. При этом все большие вспышки произошли в период подъема максимума или начальной фазы спада солнечной активности. Солнечные вспышки, сопровождающиеся излучением большой интенсивности, происходят 1—2 раза в год.

Корпускулярное излучение, возникающее во время солнечных вспышек, локализованных в западной полусфере Солнца, имеет более благоприятные условия для достижения Земли, чем частицы с восточной полусферы Солнца. В земную атмосферу проникают частицы с энергией более 450 Мэв. С 1941 по 1963 г. произошло 14 вспышек, достаточно сильных, чтобы зарегистрировать эти частицы на Земле. Наиболее сильной была вспышка 23 февраля 1956 г. Частицы с энергией менее 450 Мэв невозможно зарегистрировать мониторами на Земле, но их измерение может быть осуществлено на шарах-зондах, ракетах и спутниках.

Солнечные космические лучи достигают окрестностей Земли в среднем приблизительно через 20—30 мин. после того, как на Солнце прошла генерация протонов. Это время соответствует интервалу между оптической вспышкой или возникновением радиовсплеска в сантиметровом диапазоне радиоволн и регистрацией ионизирующих частиц на Земле. Примерно через 30 мин. после максимума вспышки, излучения ее обнаруживаются в полярной области. Интенсивность излучения вспышки достигает максимума через интервал времени от 10—15 мин. до нескольких часов в зависимости от локализации вспышки на видимой поверхности солнечного диска.

Возрастание интенсивности ионизирующего излучения хорошо регистрируется и на поверхности Луны. Так, в декабре 1970 г. во время работы «Лунохода-1» развилась сильная солнечная вспышка. В сеансах связи, проведенных 12 и 13 декабря, радиометр «Лунохода» зарегистрировал возрастание интенсивности корпускулярного потока космического излучения альфа-частиц и протонов. В период между сеансами связи с «Луноходом» интенсивность излучения увеличилась в несколько десятков раз.



Возрастание интенсивности корпускулярного потока было отмечено также аппаратурой автоматической межпланетной станции «Венера-7». Это явление было вызвано мощной хромосферной вспышкой на Солнце, зарегистрированной 10 декабря 1970 г. наземными астрономическими обсерваториями.

В период с 1 по 8 августа 1973 г. были зарегистрированы автоматической станцией «Прогноз», ИСЗ «Космос-512» и «Пионером» несколько радиационно опасных вспышек. За защитой 1—3 г·см$^{-2}$ Al доза составила около 130 рад. Оценка доз вне магнитосферы Земли за менее мощной защитой позволяет предполагать, что эти величины могли быть бóльшими — 180÷1300 рад.

В табл. 17 приведена средняя частота вспышек, характеризуемых различными спектрами энергий и величинами интегральных потоков. Эти данные получены по результатам анализа протонных вспышек за время 19-го цикла солнечной активности.

Таблица 17. **Средняя частота различных вспышек солнечного корпускулярного излучения**

| Дата | Средняя частота, $10^{-3}$·сутки$^{-1}$ | Интегральный поток, протон·см$^{-2}$ | Энергия |
|---|---|---|---|
| **13.II 1956 г.** | 0,7 | $5\cdot10^9$ | ⩽15 Бэв |
| **12.XI 1960 г.** | 1,4 | $5\cdot10^8$ | ⩽1 Бэв |
| **10.V 1959 г.** | 1,4 | $5\cdot10^8$ | ⩽500 Мэв |
| **3.IX 1960 г.** | 25 | $5\cdot10^6$ | ⩽500 Мэв |

Наиболее частыми являются слабые протонные вспышки, характеризуемые потоком $5\cdot10^6$ протон·см$^{-2}$ и мягким спектром. Интенсивные вспышки протонов (поток около $5\cdot10^8$ протон·см$^{-2}$) бывают значительно реже.

Ввиду различий в спектральном составе солнечного корпускулярного излучения возможны значительные перепады поглощенных доз при относительно малой защите корабля.

Поверхностная доза и доза, приходящаяся на костный мозг (на глубине 4 см), от десяти самых крупных вспышек приведены в табл. 18.

Произвольное распределение вспышек во времени в период повышенной солнечной активности, большое разнообразие характера и интенсивности ионизирующей радиации при каждой отдельной вспышке и изменение во времени спектра и интенсивности энергии в пределах одной вспышки — все это весьма затрудняет подсчет возможной дозы, полученной космонавтами и обусловливает использование разных критериев — поверхностная доза, доза по средней линии, среднетканевая доза и т. п. (табл. 19).

На величину поглощенной дозы сильно влияет конфигурация противорадиационной защиты и компановки корабля. Так, например, для космического корабля «Аполлон» защита меняется от 1,75 г·см$^{-2}$ до 212 г·см$^{-2}$. Защита, обеспечиваемая скафандром космонавта во время нахождения его в открытом космосе, примерно равна 0,15 г·см$^{-2}$, а в лунном отсеке она

Таблица 18. **Дозы (в радах) для десяти самых крупных солнечных вспышек 19-го солнечного цикла**

| Дата вспышки | Доза на поверхность тела за защитой (в г·см⁻² Al) | | | Доза на костный мозг за защитой (в г·см⁻² Al) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 10 | 1 | 2 | 10 |
| 23.II 1956 г. | 280 | 180 | 48 | 73 | 64 | 30 |
| 23.III 1958 г. | 148 | 54 | 2,1 | 6,4 | 4,5 | 0,66 |
| 7.VII 1958 г. | 150 | 54 | 1,93 | 6 | 4,3 | 0,59 |
| 10.V 1959 г. | 470 | 206 | 15,6 | 38 | 29,3 | 6,4 |
| 10.VII 1959 г. | 420 | 210 | 24,5 | 50 | 40 | 11,5 |
| 14.VII 1959 г. | 650 | 273 | 19,5 | 48 | 36 | 7,5 |
| 16.VII 1959 г. | 382 | 191 | 22,3 | 46 | 36 | 10,5 |
| 12.XI 1960 г. | 484 | 263 | 43 | 75 | 62 | 20,8 |
| 15.XI 1960 г. | 288 | 151 | 20,5 | 39,6 | 31,7 | 10,1 |
| 18.VII 1961 г. | 128 | 63 | 7,2 | 15 | 12 | 3,3 |

Таблица 19. **Поверхностная доза ($Д_w$) и доза по средней линии (Д ф. л.) (в радах) в фантоме человека за защитой корабля «Джемини» при различных солнечных вспышках (Jones et al., 1964)**

| Дата вспышки | В свободном космосе | | При круговой орбите 400 км, 60° | |
|---|---|---|---|---|
| | $Д_п$ | $Д_{ср.л}$ | $Д_п$ | $Д_{ср.л}$ |
| 23.II 1956 г. | 92 | 16 | 13 | 4 |
| 14.VII 1959 г. | 145 | 2,5 | 17 | 0,4 |
| 12.XI 1960 г. | 128 | 9 | 17 | 1,7 |

менее 1,0 г·см⁻². В этих условиях при интенсивной солнечной вспышке космонавт, находящийся в лунном отсеке, получит лучевое воздействие на кожу грудной клетки в дозе 350—800 бэр, на глаза — 120—180 бэр и на кроветворные органы — 12 бэр. Отметим, что вероятность облучения космонавтов излучением солнечной вспышки будет существенно зависеть от длительности космического полета. Например, в течение 15 суток вероятность облучения экипажа при защите 3,5 г·см⁻² в дозе 20—30 бэр очень мала и может быть равна 1—2% (см. ниже).

| Дата вспышки | Доза за защитой 3,5 г·см⁻², бэр | Вероятность |
|---|---|---|
| 23.II 1956 г. | 34 | 0,01 |
| 12.XI 1960 г. | 20 | 0,02 |
| 10.V 1959 г. | 14 | 0,02 |
| 3.IX 1960 г. | 0,3 | 0,32 |



Искусственный радиационный пояс Земли (РПЗ) образовался в результате космических ядерных взрывов в 1958—1964 гг.

Максимальные потоки электронов в центре искусственного РПЗ Земли к 10.X 1962 г. составляли $3 \cdot 10^8$ см²·сек⁻¹ для энергии 0,5 Мэв и 1 : $10^7$ см²·сек⁻¹ для энергии 6,0 Мэв. В 1962 г. на высоте 400 км над о-вом Джонстон был произведен наиболее значительный взрыв водородной бомбы мощностью 1,4 Мт тротилового эквивалента (взрыв США «Старфиш»). В результате бэта-распада радиоактивных продуктов взрыва было освобождено около $10^{27}$ электронов. Часть электронов оказалась захваченной магнитным полем Земли, образовав искусственный электронный пояс большой интенсивности. Центральная часть пояса располагалась на расстоянии около 3000—6000 км от поверхности Земли в плоскости экватора. Интенсивность потока электронов в центральной части пояса достигла более $10^9$ электрон·см⁻²·сек⁻¹. На расстоянии около 25 000 км от поверхности Земли поток электронов уменьшается до $10^7$ электрон·см⁻²··сек⁻¹. Поток электронов около $10^8$—$10^9$ электрон·см⁻²·сек⁻¹ соответствует мощности дозы 5—50 рад/сутки.

Пространственное распределение и потоки электронов искусственного РПЗ значительно изменяются со временем. Временно́й распад электронов подчиняется экспоненциальному закону. Потоки электронов с энергией 0,3 Мэв распадаются быстрее, чем потоки электронов с энергией бо́льшей 1 Мэв. Постоянная распада на период 1964—1965 гг. для центра искусственного РПЗ равнялась ~500 суткам. Наиболее устойчивая часть с постоянной распада 1—3 года расположена на расстоянии 1 200—4 500 км над экватором. Энергия электронов, находящихся в этой зоне, в среднем равна 1 Мэв и представляет определенную радиационную опасность. По расчетным данным О. И. Савун и др. (1973), максимальная мощность дозы излучения от ядерного взрыва «Старфиш» во внутреннем РПЗ в 1971 г. могла достигать 500 рад/сутки за защитой 0,7 г·см⁻².

В зависимости от толщины защиты и характеристик траектории полета корабля радиационная опасность искусственного РПЗ может значительно варьировать.

Например, расчеты, проведенные для командного отсека космического корабля «Аполлон», показали, что при пролете искусственного РПЗ вклад в суммарную дозу космической радиации составит менее одного рада. Результаты полетов кораблей «Аполлон» указывают на то, что эта величина несколько меньше 0,5 рад.

Таким образом, радиационная обстановка в космосе весьма сложна и радиационная опасность космического полета будет прежде всего определяться траекторией и длительностью самого полета, а также календарными сроками и наличием на борту корабля специальных средств защиты экипажа от ионизирующего излучения. В зависимости от длительности полета увеличивается радиационная опасность от ГКИ и повышается вероятность облучения экипажа протонами солнечных вспышек.

## ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Изучение особенностей биологического действия протонов различных энергий и тяжелой компоненты ГКИ — многозарядных тяжелых ядер является одной из наиболее актуальных задач космической радиобиологии в обеспечении радиационной безопасности космических полетов.

Поскольку развитие лучевого поражения зависит от линейной передачи энергии (ЛПЭ) частицами, проходящими через биологические ткани то воздействие космического излучения оценивается не только по количеству поглощенной энергии (в радах), но и по дозовым эквивалентам (в бэрах) с учетом относительной биологической эффективности (ОБЭ).

Систематические исследования ОБЭ протонов, составляющих около 99% от общего потока излучений в космосе и представляющих главную радиационную опасность при орбитальных космических полетах вокруг Земли, были начаты в СССР в 1960 г. Изучение количественных характеристик действия протонов на биологические объекты показало, что коэффициенты ОБЭ протонов не меняются существенно при изменении их энергии более чем на порядок — с 660 до 50 Мэв, и в этом диапазоне энергий равны единице. Следует подчеркнуть, что указанная однозначность результатов в действии протонов получена при использовании чрезвычайно широкого набора биологических объектов, при значительных различиях в условиях облучения (Проблемы радиационной безопасности космических полетов, 1964; Биологическое действие протонов высоких энергий, 1967; Саксонов и др., 1968). При снижении энергии протонов ниже 50 Мэв отмечается увеличение коэффициентов ОБЭ (Григорьев и др., 1969).

Существующая пока немногочисленная информация, посвященная исследованию радиобиологических эффектов, обусловленных воздействием тяжелых ядер ГКИ, показывает, что характер и течение лучевых повреждений, вызываемых указанными излучениями, существенно отличается от имеющих место при действии так называемых стандартных видов радиации. Наиболее важными отличиями являются увеличение ОБЭ плотноионизирующих излучений, сложная и неоднозначная для разных объектов зависимость между биологической эффективностью и величиной ЛПЭ, отсутствие или слабая выраженность процессов пострадиационного восстановления и действия модифицирующих агентов. При прохождении тяжелых ядер через биологические ткани наблюдаемая ионизация может быть разделена на две части. Вдоль центрального трека ядра наблюдается сильно ионизированная сердцевина, где промежутки между ионизационными точками очень малы. Сердцевину окружает область меньшей ионизационной плотности, возникшая при прохождении δ-электронов. По мере движения частицы в связи с уменьшением ее энергии к концу пути ионизация становится интенсивнее. Этот эффект резкого увеличения интенсивности ионизации в конце пробега частицы носит название феномена «заострения» или «удара». Плотность ионизации может достигать от 100 рад (для ядра кальция) до 10 000 рад (для ядра железа). В области «заострения» образуется цилиндрической формы объем интенсивной ионизации длиной до 1000 мкм с диаметром до 25 мкм для ядра кальция и длиной до 15 000 мкм с диаметром 100 мкм для ядра железа.



В таком объеме, в среднем, может быть заключено около 15 000 клеток млекопитающих. По расчетам Ланхэма (Radiobiological Factors in Manned Space Flight, 1967), при космическом полете в мозг человека может попасть за 1 час 50—60 тяжелых частиц, а по мнению Шефера (Schaefer, 1968), в теле человека за 1 час закончат свой путь, примерно, 100 тяжелых ядер.

Необходимо отметить, что феномен взаимодействия тяжелых частиц с тканью представляет собой совершенно новый тип радиобиологического действия ионизирующего излучения. Большую значимость приобретают эффекты воздействия тяжелых ядер на нерегенерирующую ткань, в особенности на нервную систему. Расчеты соответствующей опасности представлены в табл. 20.

Таблица 20. **Оценка гибели клеток в различных отделах ЦНС космонавтов при полете «Аполлона-12» (Curtis, 1961)**

| Отдел ЦНС | Диаметр клеток, мкм | Диаметр клеточных ядер, мкм | Доля погибших клеток на 1 млн |
|---|---|---|---|
| **Гранулярный слой мозжечка** | 4 | 3,6 | 0,5—0,65 |
| **Сетчатка** | 6×20 | 4 | 0,6—5,7 |
| **Кора мозга** | 19 | 4 | 2—14 |
| **Клетки Беца** | 45 | 18 | 13—83 |
| **Передний рог** | 70 | 25 | 26—200 |

В последнее время появились сообщения о том, что у американских космонавтов были ощущения световых вспышек при полете к Луне в виде ярких звезд, облачка, двойных линий с частотой 1—2 вспышки в минуту.

Данный эффект, видимо, обусловлен прохождением тяжелого ядра через сетчатку глаза (Tobias et al., 1971).

Использование пластмассовых детекторов из цитрата целлюлозы и поликарбоната позволило зарегистрировать прохождение тяжелых ядер ГКИ через шлем космонавтов при полете к Луне. Механизмы возникновения световых вспышек у космонавтов до сих пор окончательно не выяснены. Следует отметить, что космонавты кораблей, летавших вокруг Земли, подобных световых вспышек не наблюдали, что, возможно, связано с экранирующим влиянием магнитного поля Земли. Чтобы дать оценку функциональной значимости микроповреждений жизненно важных клеточных образований, в частности образований центральной нервной системы, радиобиологические эффекты тяжелых ядер требуют дальнейшего изучения. Мы не располагаем сведениями о возможных отдаленных последствиях воздействия на организм тяжелых ядер. Все это в настоящее время указывает на неопределенность оценки радиационной опасности тяжелой компоненты ГКИ.

4 Заказ № 716

### ПОДХОДЫ К НОРМИРОВАНИЮ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ

Наилучшим способом оценки возможных нарушений при незначительных облучениях человека является наблюдение за людьми, облученными в известных дозах. Этот контингент лиц обычно составляют больные, облучавшиеся с терапевтической целью.

Было проведено наблюдение над людьми, подвергнутыми субтотальному рентгеновскому облучению либо с профилактической целью после радикальной операции по поводу опухоли, либо по поводу метастатического процесса. Больные находились перед облучением преимущественно в удовлетворительном состоянии. Расстояние от источника до центра тела равнялось 120 см, мощность дозы — 3,6—5,0 р/мин. Облучали поочередно верхнюю и нижнюю половины тела спереди и сзади в разовой дозе 25 р (ежедневно или в отдельных случаях через день) до суммарных доз 100—300 р. Оценку реакции больных на лучевое воздействие производили с учетом общего состояния организма и изменений периферической крови. Клинические проявления первичной реакции оценивали по трем степеням тяжести: реакция первой степени —симптомы общей реакции единичные и выражены незначительно (небольшая слабость, головная боль, тошнота, снижение аппетита, легкое головокружение); реакция второй степени — наличие симптомов, приводящих к некоторому ухудшению общего состояния (слабость, стойкая тошнота, однократная рвота, выраженное снижение аппетита, обонятельные и вкусовые извращения, головная боль, головокружение и т. д.); реакция третьей степени — наличие симптомов, вызывающих выраженное ухудшение общего состояния (сильная общая слабость, отсутствие аппетита, резкая тошнота, многократная рвота, апатия, повышение температуры тела, озноб, выраженное извращение вкуса и обоняния, сильная головная боль, резкое головокружение).

Большинство людей хорошо переносили облучение в дозах 25 и 50 р (81,6% и 66,7% соответственно). При дальнейшем увеличении суммарной дозы отмечалось уменьшение числа людей без первичной реакции на облучение. При дозе 125 р лишь у 35,8% обследуемых не было клинических проявлений общей реакции. Выявлена статистически достоверная закономерность увеличения частоты возникновения реакции при облучении до суммарной дозы 125 р и последующая стабилизация клинических проявлений в пределах доз от 125 до 200 р. У большей части наблюдаемых первичная реакция была выражена незначительно и оценивалась как реакция первой степени. Выраженность реакций первой и второй степени с увеличением суммарных доз облучения возрастала примерно одинаково, а при дозе 100—125 р была максимальной. Реакция третьей степени проявлялась главным образом по достижении суммарной дозы 125 р с максимумом при дозе 150 р.

Анализ отдельных симптомов, так же как и анализ реакции в целом, показал постепенное увеличение частоты проявления таких симптомов, как общая слабость, нарушение аппетита, тошнота. Выраженное нарастание этих симптомов отмечалось после облучения суммарной дозой 75 р, а максимальное увеличение — в пределах 125—150 р. Обращает на себя внимание увеличение случаев рвоты у пациентов после облучения в суммарных дозах 125—175 р. Не наблюдалось четкой зависимости между общей реакцией и изменениями со стороны периферической крови. Отмечено максимальное снижение количества лейкоцитов в сроки от 35 до 55 суток, независимо от полученных суммарных доз в диапазоне 200—400 р и от степени выраженности общей реакции.



Необходимо обратить внимание на отдельные случаи, когда первичная реакция второй и третьей степени проявлялась при воздействии в дозах 25 и 50 р. У семи человек (из 97) после первого облучения появилась выраженная общая слабость, головокружение, головная боль, отсутствие аппетита, сильная тошнота и в трех случаях даже рвота. У трех больных из семи появление этих симптомов послужило причиной для отказа от дальнейшего облучения. По клиническим показаниям в четырех случаях все же была предпринята попытка повторного облучения через различные интервалы времени (от 1 дня до 6 месяцев, и у всех четырех больных вновь наблюдали выраженную реакцию, подобную реакции на первое облучение или более тяжелую. Кроме рассмотренных выше семи случаев, у трех человек после второго облучения (суммарная доза облучения 50 р) также возникла реакция второй степени. Таким образом, у 10 человек мы наблюдали раннюю выраженную первичную реакцию на лучевое воздействие в дозе 25—50 р.

Такие единичные случаи очень высокой радиочувствительности у людей указывают на необходимость специального отбора кандидатов для космических полетов. Однако следует учитывать, что для космических полетов производится строгий отбор совершенно здоровых людей, проходящих специальную тренировку, а в условиях клиники люди подвергаются облучению главным образом по поводу злокачественных новообразований или после больших оперативных вмешательств и различных видов лечения, что, безусловно, не могло не отразиться на общем состоянии и реактивности организма.

В Окриджском институте ядерных исследований (США) обобщен большой клинический материал (2100 пациентов), касающийся осложнений при лучевой терапии, с целью оценки радиационной опасности при полетах кораблей «Аполлон» (Lushbaugh et al., 1967). Были определены следующие соотношения между дозой и ее эффектом: 100 рад — потеря аппетита; 150 рад — тошнота и рвота; 225 рад — диаррея.

На основании статистической обработки клинического материала была представлена следующая дозовая зависимость проявления клинических симптомов у 50% облученных людей: анорексия — 82±32 рад; тошнота — 138±20 рад; рвота — 173±18 рад; слабость (в течение 42 суток) — 136±±36 рад; понос — 194±19 рад.

Для обоснования допустимых уровней радиации в условиях кратковременных космических полетов могут служить и материалы клинических наблюдений за реакцией людей на однократное общее облучение в больших дозах (авария на реакторах при условии более или менее равномерного облучения, действие атомного взрыва).

По данным 1-го заседания экспертов Международного агентства по атомной энергии зависимость «доза-эффект» при остром облучении представляется следующим образом: 25 рад — первичные признаки лучевого заболевания; 75 рад — легкая степень острой лучевой болезни; 200 рад — выраженный лучевой синдром.

Необходимым звеном в цепи обеспечения радиационной безопасности космических полетов является установление допустимых уровней воздействия космических излучений во время полета. Четкое, научно обоснованное регламентирование допустимых уровней облучения, по существу, предопределяет характер решения многих вопросов проблемы.

Как известно, в настоящее время в СССР, США и других странах для лиц, работающих с внешними и внутренними источниками ионизирующих излучений, установлены предельно допустимые уровни (ПДУ) облучения, соответственно равные 0,1 бэр в неделю, т. е. 5,0 бэр в год. Существующие нормативы облучения, как правило, обеспечиваются технологией производства, достаточными защитными устройствами, возможностью вывода работника в случае его переоблучения на другие участки производства, не связанные с воздействием радиации, и др. Однако существующие нормы ПДУ, принятые для работы с источниками проникающих излучений в наземных условиях, не пригодны для космических полетов. Необходимы новые специальные подходы к решению вопроса об установлении допустимых уровней облучения для экипажей кораблей.

Условия обеспечения радиационной безопасности космических полетов, по нашему мнению, требуют выделения трех групп доз ионизирующих излучений: допустимые дозы (ДД); дозы оправданного риска (ДОР); критические дозы (КД).

Допустимая доза — доза ионизирующего излучения, которая в свете современных данных не вызовет, по-видимому, у человека заметного соматического повреждения в течение всей его жизни. Такие дозы могут быть рекомендованы в качестве нормативных для кратковременных космических полетов. Превышение их должно быть исключено разработкой физической защиты с учетом характеристик радиационной обстановки на планируемой траектории полета.

Доза оправданного риска — доза ионизирующего излучения, которая в свете современных данных может привести лишь к единичным случаям слабовыраженных клинических проявлений лучевого поражения. Эти дозы должны предусматриваться только на случай возникновения радиационно опасной солнечной вспышки или для какой-либо аварийной радиационной обстановки.

Критическая доза — доза ионизирующего излучения, превышение которой приведет к отчетливым клиническим проявлениям лучевого поражения. Получение этой дозы космонавтом должно явиться сигналом к лечебно-профилактическому медицинскому вмешательству и для решения вопроса о прекращении полета.

Учитывая такие специфические черты кратковременного космического полета, как возможность облучения ограниченного числа лиц и однократное «профессиональное» облучение, в СССР были утверждены следующие уровни облучения как исходные для разработки системы радиационной безопасности кратковременных космических полетов продолжительностью до 30 суток:

| Характеристика дозы | Доза за полет, бэр |
|---|---|
| **Допустимая доза (ДД)** | 15 |
| **Доза оправданного риска (ДОР)** | 50 |
| **Критическая доза (КД)** | 125 |



Эти нормативные уровни облучения использовались в качестве исходных при проектировании физической защиты космических кораблей «Союз», а также при разработке мер по радиационной безопасности космонавтов.

Следует, однако, отметить необходимость дальнейшего усовершенствования критерия радиационной безопасности для космических полетов. В связи с ограниченностью бортовых ресурсов (вес, объем) возникает задача рационального их распределения между системами, входящими в комплекс медико-биологического обеспечения жизнедеятельности и безопасности экипажа. Для этого необходимо найти единый критерий, позволяющий сравнивать между собой различные системы корабля. Существенным шагом в этом направлении может быть разработка критериев радиационной безопасности и общих критериев безопасности на основе единой концепции приемлемого риска (Ковалев, 1973).

Анализ масштабов риска в различных сферах деятельности современного человека в земных условиях позволяет сделать следующие выводы:

1) средний уровень риска смерти от болезней для мужчин всех возрастных групп составляет $1 \cdot 10^{-2}$ на человека в год. Для возраста 20—50 лет риск много меньше — от $4 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ на человека в год;

2) риск смерти от несчастных случаев для всех мужчин достигает $1 \cdot 10^{-3}$ на человека в год.

Условия профессиональной деятельности современного человека в промышленно развитых странах могут быть отнесены к одной из следующих четырех категорий: безопасные (риск — $10^{-4}$ и менее), относительно безопасные ($10^{-4} \div 10^{-3}$), опасные ($10^{-3} \div 10^{-2}$) и особо опасные ($10^{-2}$ и более на человека в год) условия. Интересно отметить, что средний уровень риска смерти от болезней для мужчин всех возрастов можно сравнить лишь с риском смерти в особо опасных профессиональных условиях. В средних возрастных группах мужчин риск смерти от болезней сравним с риском смерти для опасных условий профессиональной деятельности. Сравнение уровней риска смерти от различных источников опасности показывает, что в настоящее время граничное значение риска смерти, отделяющее безопасные условия деятельности человека от условий небезопасных или относительно безопасных, находится в интервале $(1 \div 5) \cdot 10^{-4}$ на человека в год.

Для того чтобы оценить риск, связанный с воздействием радиации при космических полетах в пределах приведенных выше дозовых нормативов (ДДР, ДОР, КД), нужно установить соотношение между риском вредных воздействий и дозой радиации. При этом следует исходить из следующих основных предпосылок. Во-первых, рассматривать лишь отдаленные последствия действия радиации, приводящие к увеличению вероятности смерти индивидуума вследствие появления лейкемии и других злокачественных заболеваний. При этом имеется в виду, что ранняя летальность из-за острых воздействий вспышек солнечного корпускулярного излучения исключительно маловероятна благодаря оперативной работе Службы радиационной безопасности полета. Во-вторых, считать, что рассматриваемые отдаленные последствия радиационных воздействий носят беспороговый характер и линейно зависят от дозы, но не зависят от мощности дозы радиации и временно́го режима облучения.

Согласно данным Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) риск смерти от лейкемии принимается равным двадцати случаям лейкемии на миллион на бэр. Принимают также, что все остальные злокачественные новообразования в 5—6 раз вероятнее лейкемии. Это дает значение риска смерти от всех злокачественных новообразований, равное $1{,}5\cdot10^{-4}$ на бэр при общем облучении тела человека. Следует отметить, что эти значения риска смерти основываются главным образом на данных, относящихся в принципе к интересующему нас диапазону доз радиации (десятки бэр и более) и к относительно близким условиям воздействия.

Уровни радиационного риска, соответствующие принятым дозовым критериям, будут таковы. Допустимой дозе 15 бэр соответствует риск смерти, составляющий по этим оценкам $2{,}2\cdot10^{-3}$, дозе оправданного риска — $7{,}5\cdot10^{-3}$ и критической дозе — $2\cdot10^{-2}$ за полет. Если считать, что космонавт совершает один полет такого типа за год, и что весь остальной период он находится в условиях профессионального риска, оцениваемого величиной не более $10^{-4}$, то принятым дозовым нормативам (ДД и ДОР) соответствуют стандарты безопасности, существующие в относительно безопасных профессиях («четвертый порядок риска»). Дальнейшее развитие этого подхода открывает возможность сравнения надежности защиты от радиации и других систем обеспечения жизнедеятельности и безопасности космических полетов на основе единых критериев безопасности.

## КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРАБЛЕЙ «СОЮЗ»

Обеспечение радиационной безопасности экипажа космического корабля при условии минимальных весовых затрат на создание дополнительной защиты возможно только при комплексном подходе к этой проблеме. Такой подход заключается в рассмотрении и учете всех мероприятий, направленных на эффективное обеспечение радиационной безопасности космонавтов с позиций создания единой системы. Основные принципы создания таких систем, сформулированные ранее (Волынкин и др., 1964, 1966; Григорьев, Ковалев, 1967), нашли свое дальнейшее отражение и совершенствование в мероприятиях по обеспечению радиационной безопасности экипажей пилотируемых кораблей «Союз».

Построение оптимальной системы радиационной безопасности экипажа космического корабля возможно лишь при условии, что система эта является органической составной частью реализуемой космической программы.

Данный подход был предусмотрен и при разработке системы радиационной безопасности экипажей кораблей «Союз».

Оценка параметров излучения на трассе полетов кораблей и возможных уровней облучения космонавтов позволила сформулировать основные требования к физической защите в отсеках кораблей «Союз», обосновать и реализовать меры по фармакохимической защите экипажа, определить необходимый объем бортового и индивидуального дозконтроля космонавтов, а также сформулировать задачи оперативного обеспечения радиационной безопасности каждого пилотируемого полета, осуществляемого Службой радиационной безопасности. Все изложенные мероприятия в совокупности составили систему радиационной безопасности при полетах космических кораблей «Союз».



**Оценка защитных свойств корабля.** Методические подходы к расчету защиты от радиации на космических кораблях с учетом зондирования трассы изложены в многочисленных обзорных и оригинальных работах (Бобков и др., 1964; Радиационная опасность при космических полетах, 1964; Ковалев, 1967; и др.). Аналогичные принципы были использованы и при определении физической защиты на кораблях «Союз». В результате проведенной работы была создана картограмма возможных доз излучения с учетом компоновки корабля и различной толщины его обшивки.

**Меры индивидуальной фармакохимической защиты экипажа.** Обосновывая фармакохимическую защиту организма от ионизирующей радиации для условий космических полетов, отечественные исследователи дали развернутую оценку различным классам противолучевых веществ в эксперименте на животных не только в обычных условиях, но и в условиях воздействия на них ряда факторов, присущих космическому полету (вибрация, перегрузки, гипоксия и др.). Отмечено, что эффект противолучевой защиты сохранялся всегда и на фоне воздействия на животных нелучевых факторов, свойственных космическому полету. Однако специфичность условий космического полета пока существенно ограничивает рекомендацию того или иного противолучевого вещества в качестве индивидуального средства защиты для космонавтов (Антипов и др., 1964; Саксонов и др., 1968, 1970; Рогозкин, 1967; Рогозкин и др., 1970).

Препарат противорадиационной защиты, рекомендуемый для экипажей космических кораблей, прежде всего должен быть эффективным по своему предназначению, обладать достаточной широтой терапевтического действия в используемых дозах, а также не оказывать кумулятивного токсического действия на организм при повторных введениях (приемах). Будучи принят космонавтом при угрозе радиационного воздействия, препарат не должен вызывать снижения работоспособности, а именно, ослаблять внимание и приобретенные навыки в управлении кораблем, и, разумеется, снижать устойчивость организма к другим действующим факторам полета (перегрузкам, невесомости, вибрации и др.). Что касается фармацевтической особенности препарата, если он предназначен для бортовой аптечки, то специфичность его свойств должна сохраняться при воздействии всех экстремальных факторов космического полета. Отсюда можно заключить, что не всякое радиозащитное вещество, зарекомендовавшее себя положительно в опытах на животных и даже в клинической практике, может быть использовано в условиях космических полетов.

Учитывая особые условия, в которых оказывается человек при космическом полете, необходимо, чтобы радиозащитные препараты прежде, чем они будут рекомендованы для космонавтов, были исследованы в наземных условиях на людях, подвергаемых воздействиям, моделирующих условия космического полета. Иначе говоря, должна иметься обоснованная уверенность в отсутствии ухудшения переносимости человеком основных экстремальных факторов, свойственных тому или иному космическому полету, после приема радиозащитных веществ. Для орбитальных полетов

вокруг Земли таковыми могут явиться прежде всего угловые ускорения и перегрузки.

Все вышеизложенные предпосылки были учтены при обосновании и разработке мер индивидуальной фармакохимической защиты для космонавтов, совершающих полет на космических кораблях «Союз». Естественно, этому предшествовала большая экспериментальная работа и клиническое изучение рекомендуемых фармакохимических препаратов.

В качестве противолучевого средства биологической защиты был использован оригинальный препарат — амитетравит, состоящий из витаминов С, $B_1$, $B_6$, Р и аминокислот триптофана и гистидина хлоргидрата. Основной особенностью амитетравита, подтвержденной экспериментально на животных, является способность его оказывать защитное действие при облучении в дозах, близким нормативным для космических полетов длительностью до 30 дней (55—160 рад). Другая особенность амитетравита, как показали эксперименты, заключается в том, что профилактическое (защитное) действие его после многократного применения за 2—3 недели до облучения проявляется и сохраняется после облучения. Назначение амитетравита перед облучением может способствовать увеличению защитного эффекта от последующего введения химических радиопротекторов (Рогозкин и др., 1967).

Целевые клинико-физиологические испытания амитетравита на здоровых людях показали, что двухнедельный прием амитетравита приводит к улучшению общефизиологических показателей: уменьшалась вегетативно-сосудистая лабильность, увеличивалась скорость темновой адаптации, а у некоторых повышалась острота зрения в условиях сумеречного освещения. Во время и после курса приема амитетравита (через 6—7 дней) у испытуемых отмечалось снижение пороговой чувствительности вестибулярного анализатора к угловым ускорениям и одновременно повышение устойчивости к воздействию непрерывной кумуляции ускорений Кориолиса (особенно у лиц с низкой исходной устойчивостью). Чувствительность к воздействию прямолинейных ускорений не изменялась (Ефимов и др., 1969). Это свидетельствовало о том, что данный препарат, предлагаемый в качестве противолучевого средства биологической защиты для экипажей кораблей «Союз», может иметь определенное значение и для повышения общей устойчивости организма к другим неблагоприятным факторам.

Учитывая эти обстоятельства, было рекомендовано космонавтам принимать амитетравит в предполетном периоде.

Кроме предполетной профилактики, направленной на повышение радиоустойчивости и общей устойчивости организма, в бортовой аптечке кораблей «Союз» находился радиопротектор амбратин, а также комплекс витаминов, предназначенных для использования членами экипажа при развитии солнечной вспышки, сопровождающейся протонным излучением.

Амбратин представляет собой гидротартрат цистеамина с пиридоксином. Экспериментальная проверка показала относительно высокую эффективность препарата в условиях острого облучения животных (Рогозкин и др., 1970) Максимально переносимой дозой амбратина у людей при однократном приеме внутрь является 2 г (Черкес, Мельникова, 1972).

В специальных исследованиях было установлено, что амбратин в дозе 1,2 г (по цистеамину) удовлетворительно переносился здоровыми людьми и не оказывал отрицательного действия на переносимость кумулятивного воздействия ускорений Кориолиса (Ефимов и др., 1972). Вестибулярная устойчивость людей после приема амбратина в течение 1—1,5 час. не снижалась, а время возникновения сенсорных реакций (иллюзия качания) при непрерывной кумуляции ускорений Кориолиса (НКУК) даже существенно отдалялось. Прием внутрь препарата не оказывал существенного неблагоприятного влияния на переносимость человеком длительно действующих перегрузок направления «грудь — спина» (до 12 ед.) и «голова — таз» (до 5 ед.). Было показано, что амбратин не оказывает отрицательного действия на деятельность человека-оператора при выполнении компенсаторного одно-, двух- и трехмерного слежения, а также на внимание и умственную работоспособность его во время 3-часовой работы по слежению.



При стендовых испытаниях лекарственной формы амбратина (таблетки) применительно к условиям кратковременных космических полетов (перегрузки, вибрация, вакуум, высокая относительная влажность, гипоксия) установлена полная количественная и качественная сохранность цистеамина и пиридоксина и отсутствие распадаемости таблеток.

На основании всех исследований амбратин был включен в состав бортовой аптечки кораблей «Союз» в качестве радиопротектора. Прием космонавтами амбратина во время полета, а также комплекса витаминов, находящихся в аптечке, при угрозе радиационного воздействия, регламентирован Службой радиационной безопасности, осуществляющей прогноз и контроль радиационной обстановки в течение всего полета.

Таким образом, меры по фармакохимической защите космонавтов, совершивших кратковременные полеты на космических кораблях «Союз», прошли клинико-экспериментальное обоснование. Они слагались из предполетного приема экипажем противолучевого средства биологической защиты амитетравита и наличия в бортовых аптечках радиопротектора амбратина и комплекса витаминов, которые могли быть использованы космонавтами по указанию Службы радиационной безопасности.

**Бортовой и индивидуальный дозиметрический контроль.** Основная задача бортового дозиметрического контроля (БДК) заключается в измерении уровней излучения в отсеках корабля. Для полной оценки радиационной обстановки на борту в состав системы БДК были включены два радиометра Р7-I и Р7-II, размещенных в бытовом отсеке (БО) и спускаемом аппарате (СА). Измерения, осуществляемые одновременно в БО и СА обеспечивали оценку радиационной обстановки на всем корабле. Для предупреждения экипажа об ухудшении радиационной обстановки на борту на пульт управления выводилась сигнализация о превышении уровня мощности дозы 50 мрад/час, регистрируемой радиометром, установленным в БО. Радиометры предназначались для измерения мощности дозы и интегральной дозы космической радиации и различались в основном детекторами. Если детектором радиометра Р7-II, размещенного в БО, служила ионизационная камера с электростатическим реле, изготовленная из оргстекла и заполненная аргоном под давлением около шести атмосфер, то в радиометре Р7-I, установленном в СА, в качестве детектора использовался газоразрядный счетчик СИЗБГ, обеспечивающий регистрацию даже незначительных изменений уровней радиации на траектории корабля.

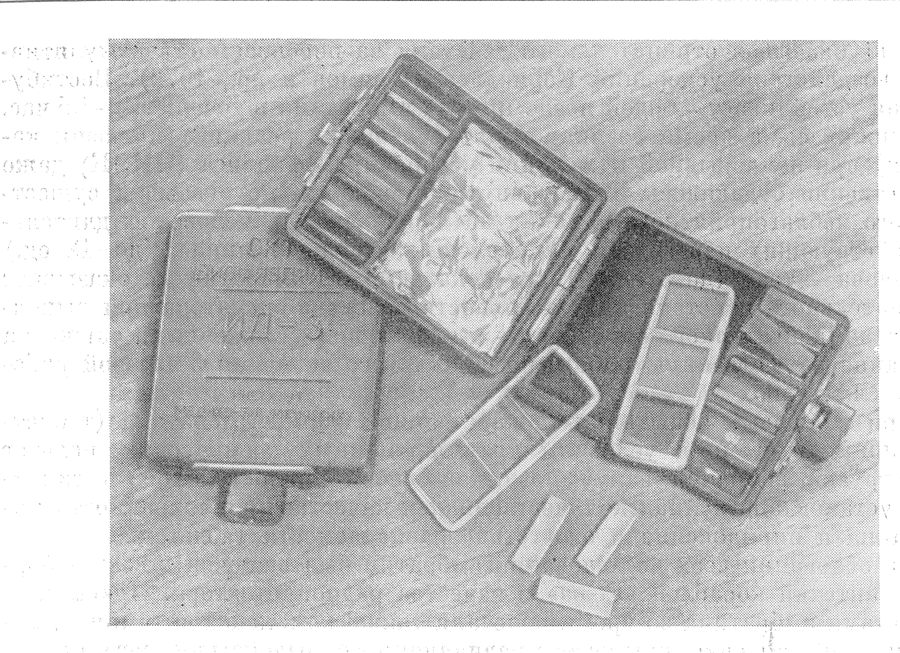



Рис. 10. Комплект индивидуального дозиметра ИД-3

Основные задачи индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) состояли в детальном измерении доз облучения космонавтов за весь полет с учетом их распределения по телу. С этой целью на полетной одежде каждого космонавта были размещены по три кассеты индивидуального дозиметрического контроля (ИД-3) (грудь, правый бок, правое бедро). Стандартная кассета ИД-3 (рис. 10) выполнена в виде пластмассового пенала, в котором размещены термолюминесцентные дозиметры прямоугольной и цилиндрической формы, снабженные фильтрами, выравнивающими зависимость показаний этих дозиметров в диапазоне энергии гамма-излучения больше 50 Кэв и позволяющими качественно оценить вклад в дозу, обусловленный тепловыми нейтронами, электронами и мягкой компонентой гамма-излучения. В кассете размещался также набор ядерных фотоэмульсий различной чувствительности, позволяющий оценить спектр излучения, воздействующего на космонавта за весь полет. Дозиметрические кассеты ИД-3 обеспечивали надежное измерение доз излучения в диапазоне $5 \cdot 10^{-2}$—$5 \cdot 10^{3}$ рад в широком интервале энергий. Более подробное описание методик контроля индивидуальных доз дано в книге «Физические и радиобиологические исследования на искусственных спутниках Земли» (1971). Размещение кассет ИД-3 непосредственно на одежде космонавтов обеспечивало непрерывность измерения уровней воздействующего космического излучения при выполнении членами экипажа разнообразных операций в соответствии с полетной программой. Дозы, измеренные кассетами ИД-3, в совокупности с данными бортового дозиметрического контроля позволяли получить полную картину радиационного воздействия на экипаж.



**Оперативный контроль радиационной обстановки и ее прогноз.** Основная работа по обеспечению радиационной безопасности экипажей в период подготовки и проведения полета осуществлялась Службой радиационной безопасности (СРБ). Основными задачами, решаемыми СРБ, явились: сбор информации о радиационной обстановке в космическом пространстве с борта корабля и с патрульных искусственных спутников Земли; наблюдение астрофизических и геофизических явлений, предшествующих и сопутствующих хромосферным солнечным вспышкам, генерирующим радиационно-опасные солнечные космические лучи (СКЛ); оценка накопленных суммарных доз радиации на борту корабля и прогноз возможных уровней облучения космонавтов в случае развития протонных солнечных вспышек; сопоставление радиационной обстановки на борту с установленными допустимыми уровнями облучения, принятие решения о проведении защитных мероприятий во время полета.

Эти задачи определили основные принципы работы и структуру СРБ, осуществляющей обеспечение радиационной безопасности экипажей космических кораблей «Союз». Они определили также в большой степени требования к виду, объему и качеству информации, используемой в работе СРБ. Принятая структура Службы изображена на схеме 1. Как видно из приведенной схемы, в СРБ имеется три узловых пункта.

1. Центр сбора и анализа астрофизических и геофизических данных, основная задача которого состоит в получении, обобщении и анализе результатов наблюдения Солнца в оптическом и радиодиапазоне электромагнитного излучения, выработке прогноза солнечных вспышек и определении параметров геомагнитных и геофизических возмущений, необходимых для оценки мощности солнечных вспышек и сопровождающего

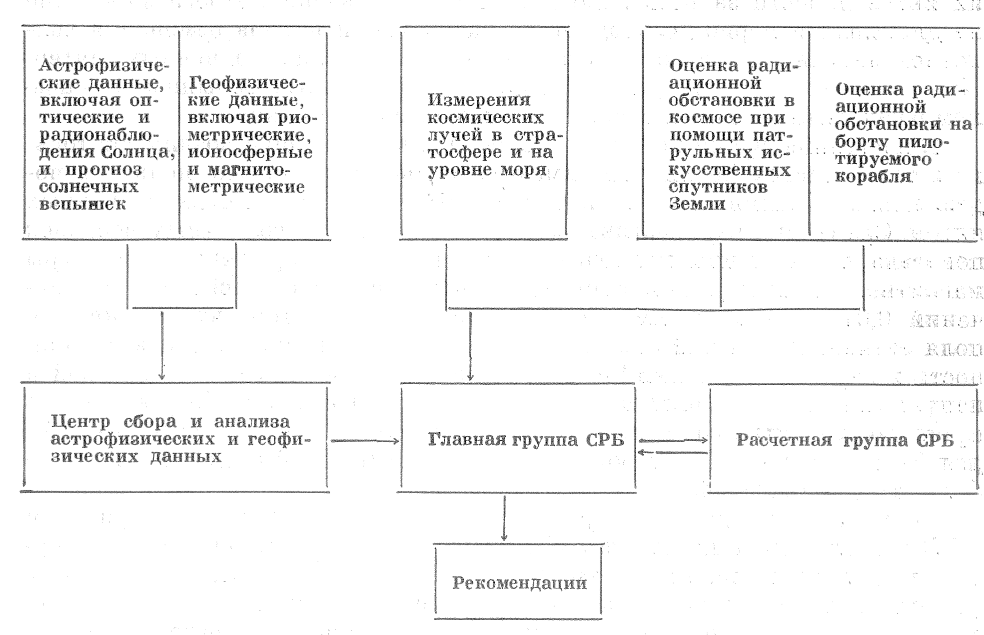



Схема 1. Функционирование Службы радиационной безопасности (СРБ) при полетах космических кораблей «Союз»

их корпускулярного излучения, а также величины геомагнитного порога обрезания вдоль траектории полета корабля.

2. Расчетная группа СРБ, осуществляющая оперативное выполнение расчетов и оценок ожидаемой радиационной обстановки на трассе и в отсеках космического корабля на основе измеренных характеристик излучений в стратосфере, на уровне моря и в космическом пространстве.

3. Главная группа СРБ, выполняющая оценку радиационной обстановки с точки зрения опасности для экипажа, разрабатывающая необходимые рекомендации и осуществляющая общее руководство всей системой радиационной безопасности экипажа корабля.

Описанная структура СРБ показала высокую эффективность в организации работ. Источники информации, поступающей в СРБ, могут быть разделены на три категории: астрофизические наблюдения и геофизические измерения, патрульные спутники радиационной обстановки в космосе и оперативный дозиметрический контроль на борту корабля.

Прогнозирование радиационной обстановки при планировании космического полета и в период его осуществления является важным элементом системы обеспечения радиационной безопасности космических полетов. Для кратковременных космических полетов очень важно изыскание путей прогнозирования радиационно-опасных возрастаний дозы космических лучей, предсказания мощности вспышки и характера ее распространения в межпланетном пространстве. Эта задача требует проведения систематического изучения активности Солнца при помощи астрономических и физических методов. Прогнозирование радиационной обстановки связано как с предсказанием интенсивности ГКИ и частоты солнечных вспышек на несколько лет, так и с прогнозированием вспышек и их интенсивности за несколько дней до их появления. Прогнозирование на длительный период основывается на изучении циклов изменения солнечной активности, в частности частоты появления солнечных пятен. Краткосрочное прогнозирование радиационно-опасных вспышек в основном базируется на исследовании магнитных полей Солнца.

В настоящее время хорошо установлено, что вспышки возникают только в тех областях Солнца, где имеются сильные магнитные поля — в подавляющем большинстве случаев в группах так называемых солнечных пятен. Сравнение карт магнитных полей до и после солнечных вспышек показало, что вспышки приводят к существенному упрощению структуры магнитного поля и уменьшению градиентов поля после вспышки до значений 0,01—0,02 гаусс/км. Это свидетельствует о том, что магнитные поля активных областей ответственны за возникновение вспышек, а мощность и характер вспышки определяются главным образом структурой и напряженностью магнитного поля. В настоящее время оправданность прогнозов развития солнечных вспышек невелика: для 2—3 суток — 80%, для 8—10 суток — 60%. Прогноз на более длительный срок является еще более трудной задачей.

Геофизические данные отражают явления, обусловленные приходом СКЛ в околоземное пространство. К ним относится поглощение радиошумов в полярной шапке, возмущение геомагнитного поля, внезапные уменьшения скорости счета нейтронных мониторов, установленных на поверхности Земли (Дорман, 1963) и т. д. Измерение этих эффектов позволяет определить не только факт прихода СКЛ, но и такие важные характеристики, как плотность потока и спектральное энергетическое распределение. Кроме того, в период полета кораблей производится прямое измерение космических лучей в стратосфере при помощи аппаратуры, поднимаемой на шарах-зондах в полярных областях. Это высокочувствительный метод измерения основных характеристик СКЛ (Чарахчьян, Чарахчьян, 1962), которые затем оперативно пересчитываются в возможные уровни облучения экипажей космического корабля.



Для получения информации о радиационной обстановке в космическом пространстве в период полетов пилотируемых кораблей «Союз» СРБ использовала измерения, осуществляемые при помощи комплекса радиометрической аппаратуры, установленной на ИСЗ «Молния-1» (Савун и др., 1967). Этот комплекс аппаратуры позволяет получать данные об интегральной дозе радиации, воздействовавшей на системы ИСЗ за какой-либо отрезок времени, а также измерять энергетический спектр СКЛ в области энергий до 100 Мэв непосредственно во время работы телеметрической системы передачи данных с ИСЗ.

Во время полета кораблей серии «Союз» в качестве дежурного параметра была выбрана интегральная доза за виток ИСЗ, которая в отсутствие СКЛ хорошо воспроизводится от измерения к измерению. При необходимости по заданию Главной группы СРБ могли быть выполнены оперативные измерения энергетических спектров СКЛ за пределами магнитосферы — в апогейном участке траектории ИСЗ «Молния-1». В совокупности с результатами измерений космических лучей в стратосфере, выполняемых на шарах-зондах, и данными наземной сети нейтронных мониторов результаты измерений на ИСЗ «Молния-1» позволяют получить детальную информацию об энергетическом спектре СКЛ и провести необходимые оценки возможных уровней облучения космонавтов для выработки надежных рекомендаций. Данные с искусственных спутников Земли «Молния-1» позволили контролировать постоянство потоков излучения под радиационными поясами, в зоне поясов и практически на границе магнитосферы на высоте 40 000 км над поверхностью Земли. Все эти измерения обеспечивали дозиметрический контроль радиационной обстановки в околоземном пространстве и значительно повышали надежность работы СРБ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРАБЛЕЙ «СОЮЗ»

Во время полетов кораблей «Союз» радиационная обстановка была различной и это накладывало свои особенности на работу СРБ.

Сложная радиационная ситуация была при выполнении полета корабля «Союз-3» (26—30 октября 1968 г.), что определялось в основном прохождением по солнечному диску двух активных групп. Первая из них проходила по диску с 17 до 30 октября 1968 г., имела характеристики, соответствующие классу максимально развитых областей, вплоть до 25 октября. Однако значительных вспышек за время полета эта группа не дала. Вторая группа проходила по диску Солнца в период с 21 октября по 4 ноября, достигла максимального развития к 31 октября и дала много мощных вспышек. К числу их относятся три вспышки от 27, 29 и 30 ок-

тября, сопровождающиеся явлениями, характерными для протонных вспышек. Однако радиационная обстановка в корабле «Союз-3» изменялась в течение полета незначительно, мощность дозы космического излучения в корабле не превышала 7,3 мрад/сутки. Интегральная доза нарастала равномерно (рис. 11). Результаты измерений в стратосфере и на ИСЗ «Молния-1» свидетельствовали о нормальной радиационной обстановке.

Однако 29 октября во второй половине дня было зарегистрировано резкое увеличение интегральной дозы на ИСЗ «Молния-1». С 14 час. 29 октября до 7 час. 30 октября доза возросла на 100 рад, а к 15 час. 30 октября увеличилась еще на 40 рад (рис. 12). Вместе с тем измерения, проведенные в стратосфере в полярных областях 29 октября в 22—24 часа, не зарегистрировали какого-либо повышения интенсивности космического излучения (рис. 13). Анализ полученных данных показал, что указанные возрастания интегральной дозы, зарегистрированной на ИСЗ «Молния-1», могли быть обусловлены изменениями в радиационных поясах Земли и приходом в околоземное пространство потоков низкоэнергетических СКЛ.

При невозмущенном геомагнитном поле указанные потоки СКЛ не представляли опасности для космонавтов, что подтвердилось непосредственными измерениями доз в корабле вплоть до 7 час. 30 октября. При последующих измерениях было установлено возрастание интегральной дозы в корабле. Так, непосредственно перед посадкой мощность дозы в бытовом отсеке возросла приблизительно до 0,4 рад/сутки (см. рис. 11), что свидетельствовало об ухудшении радиационной обстановки на орбите корабля «Союз-3». Причиной этого могло быть снижение геомагнитного порога в результате магнитной бури и появление протонов с энергиями сотен Мэв на траектории полета. Суммарная доза в корабле «Союз-3» к моменту посадки составила 54 мрад.

Таким образом, полет корабля «Союз-3» проходил в сложной обстановке. Постоянный контроль радиационной обстановки, предсказания ее возможных ухудшений с оценкой опасности для космонавтов, несмотря на возникновение солнечных вспышек (за время полета зарегистрировано 23 вспышки балла 1 и 2), позволило СРБ обоснованно рекомендовать продолжение полета по программе.

Полет кораблей «Союз-4» и «Союз-5» проходил в спокойной радиационной обстановке. Перед проведением полета этих кораблей (14—18 января 1969 г.) долгосрочный прогноз солнечной активности на 5—25 января 1969 г. позволил определить следующие основные периоды: 5—13 января возможны вспышки, 14—18 января — спокойная обстановка, 19—25 января возможны вспышки. Постоянное измерение космических лучей в стратосфере в полярных областях (на широте ~64°) и контроль радиационной обстановки в кораблях проводились по той же программе, что и при полете корабля «Союз-3». Результаты измерений интегральных доз в кораблях «Союз-4» и «Союз-5» характеризовались линейным изменением (рис. 14). Эти данные и прогноз вспышек свидетельствовали о спокойной радиационной обстановке. За весь полет не произошло ни одной вспышки больше балла 1. Как и при полете корабля «Союз-3», СРБ располагала всеми необходимыми данными о радиационной обстановке на трассе и в корабле, что способствовало уверенному выполнению всех этапов полетной программы кораблей «Союз-4» и «Союз-5».



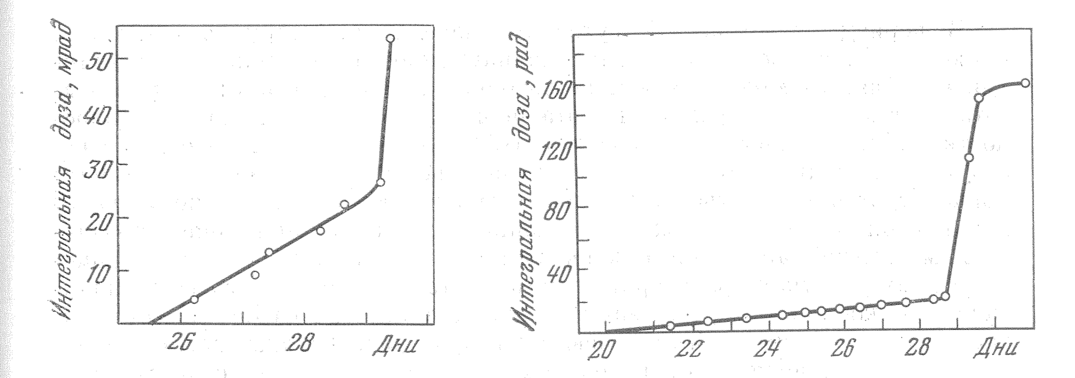



Рис. 11. Изменение дозы космической радиации в корабле «Союз-3» во время полета в октябре 1968 г.

Рис. 12. Результаты измерения космической радиации на ИСЗ «Молния-1» во время полета космического корабля «Союз-3» в октябре 1968 г.

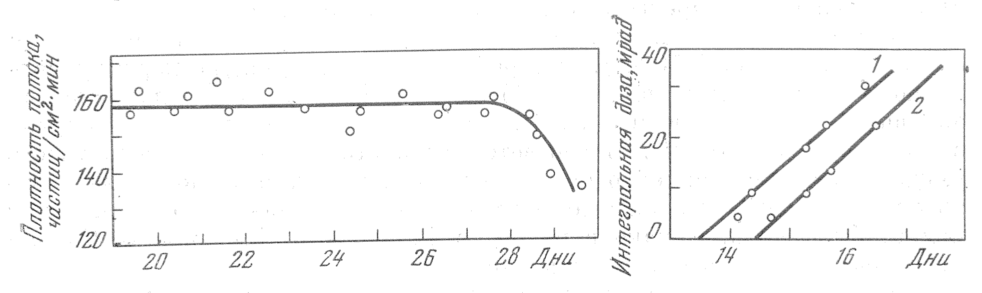



Рис. 13. Плотность потока космического излучения в стратосфере в полярных областях во время полета космического корабля «Союз-3» в октябре 1968 г.

Рис. 14. Изменение дозы космической радиации в корабле «Союз-4» (1) и «Союз-5» (2) во время полета в январе 1969 г.

Особенно тщательно контролировался уровень радиации во время перехода космонавтов в корабль «Союз-4», так как в этот момент их противорадиационная защита была минимальной. Астрофизические данные о вспышках обрабатывались немедленно после получения. Продолжительность солнечного патруля составила в этот день около 13 час. Оценка возможных доз облучения космонавтов А. С. Елисеева и Е. В. Хрунова при выходе в открытый космос свидетельствовала о том, что выполнение этого сложного этапа программы будет безопасным в радиационном отношении. Суммарная доза в кораблях за полет составила 31 мрад («Союз-4») и 32 мрад («Союз-5»).

В период группового полета кораблей «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8» (11—18 октября 1969 г.) солнечная активность также была незначительной и радиационная обстановка спокойной. Зарегистрированные вспышки на Солнце были слабыми и не вызвали увеличения интенсивности космических лучей в околоземном пространстве. Суммарные дозы радиации в кораблях к концу полета были в пределах 36÷54 мрад и обусловливались главным образом ГКИ.

В период подготовки 18-суточного полета пилотируемого корабля «Союз-9» была проведена оценка радиационной обстановки на траектории корабля, имеющей следующие основные характеристики: средняя высота апогея 250 км, средняя высота перигея 225 км, угол наклона плоскости орбиты к плоскости экватора 51,7°. Анализ показал, что в случае отсутствия мощных протонных солнечных вспышек радиационная обстановка будет определяться галактическим космическим излучением, вкладом протонной компоненты радиационного пояса Земли в зоне Бразильской магнитной аномалии и электронной компоненты пояса в широкоширотных участках траектории полета. Интегральная доза за счет галактического космического изучения и радиационного пояса Земли, согласно расчетам, не должна была превысить 0,25 рад. Однако рассмотрение траектории корабля в L, B-координатах свидетельствовало о наличии участков траектории, на которых эффект геомагнитной экранировки значительно ослаблен и геомагнитный порог для протонов составляет ~100 Мэв. Возможное снижение этого порога при развитии нескольких следующих друг за другом солнечных вспышек не исключалось вследствие большей, чем предыдущие, продолжительности полета.

На этапе подготовки полета был составлен месячный прогноз (с 25 мая по 25 июня 1970 г.), который давал следующую картину солнечной активности: в период с 25 мая по 12 июня ожидалась низкая активность с последующим возрастанием до среднего уровня в период с 12 июня по 25 июня. В соответствии с этим прогнозом вероятность ухудшения радиационной обстановки и значительного отклонения реальных доз облучения космонавтов от расчетных в течение первых 12 суток полета была мала. Однако в период с 12 июня по 19 июня на Солнце могли развиться протонные вспышки.

Учитывая, что полет будет продолжаться 18 суток и придавая важность знанию всех факторов, в том числе и радиационного воздействия, могущего повлиять на состояние космонавтов, Служба радиационной безопасности в течение всего полета осуществляла тщательный контроль за радиационной обстановкой в корабле и на траектории, а также прогноз возможных ее изменений.

Все параметры, характеризующие радиационную обстановку, подразделялись на оперативные и общие. К оперативным были отнесены параметры, подтверждающие нормальность радиационной обстановки на траектории и в корабле, позволяющие своевременно прогнозировать возможность ее ухудшения.

В их число входили: общий уровень солнечной активности (число Вольфа) и характеристики отдельных групп пятен, прогноз солнечных вспышек и их интенсивность, характеристики всплесков солнечного излучения в диапазоне частот 50—3000 мгц, измерение интенсивности космических лучей в полярной стратосфере и ионосфере, дозиметрический контроль радиационной обстановки в околоземном пространстве, дозиметрический контроль в корабле.

К общим параметрам, подлежащим измерению в случае ухудшений радиационной обстановки, относились: дифференциальные энергетические спектры солнечных космических лучей, зависимость их интенсивности от времени, характеристики геомагнитного поля, спектр Форбуш-спадов и ряд других.



Как и при предыдущих полетах, особое значение придавалось постоянному контролю радиационной обстановки в околоземном пространстве при помощи радиометрической аппаратуры, установленной на искусственном спутнике Земли «Молния-1». Оперативным параметром служило значение измеренной на спутнике интегральной дозы за один виток (~12 час.). Как показали экспериментальные и расчетные оценки, для невозмущенной радиационной обстановки повитковая доза на искусственном спутнике Земли «Молния -1» для периода полета корабля «Союз-9» составляла ~0,9 рад за виток. Эти данные, а также контролируемое значение интенсивности космического излучения в максимуме распределения ее в стратосфере (среднее значение в нормальных условиях ~150 частиц/см$^2$·мин) интегральны по всем эффектам, связанным с вариациями радиационной обстановки в околоземном пространстве (проход частиц солнечного космического излучения в зону полярной шапки, возмущения радиационного пояса, изменение геомагнитного порога и т. д.). Они являются весьма чувствительными индикаторами, позволяющими своевременно зафиксировать появление избыточной радиации и провести в случае необходимости полный анализ радиационной обстановки. К анализу обстановки привлекались также результаты оперативных дозиметрических измерений на борту, передаваемые на Землю.

Радиационная обстановка в течение всего полета корабля «Союз-9» оставалась нормальной и характеризовалась следующим. Имело место весьма хорошее совпадение прогнозируемого и реального хода солнечной активности. Прогноз относительного числа солнечных пятен отклонился от реального значения в конце полета, причем реальные величины оказались несколько заниженными по отношению к прогнозированным (рис. 15). Временной ход солнечной активности был обусловлен изменением количества и площадей активных групп, наблюдаемых на диске Солнца в течение полета (рис. 16). Все активные области, проходившие по диску Солнца в период с 1 по 12 июня 1970 г., имели тенденцию к распаду, что выражалось в уменьшении как их площади, так и сложности структуры пятен и их магнитных полей. 12 июня на диске появилась большая активная область (площадь 700 миллионных долей полусферы) [1], обусловившая повышение активности до среднего уровня. Однако эта область не имела сложной структуры, характерной для активных центров, дающих мощные протонные вспышки.

В период с 1 по 12 июня были зарегистрированы только слабые вспышки, в то время как с 12 по 16 июня произошло 11 умеренных вспышек (баллы 2 и 2 +). Эти вспышки не сопровождались солнечными космическими лучами, что подтвердилось как измерениями в полярной стратосфере, так и данными, полученными с искусственного спутника Земли «Молния-1». Интенсивность космических лучей в максимуме распределения их в стратосфере в течение всего полета оставалась весьма устойчивой (140÷160 частиц/см$^2$·мин).

Отклонение не превышало ±10% от значения при спокойной радиационной обстановке.

На искусственных спутниках Земли «Молния-1» на протяжении всего полета корабля «Союз-9» наблюдалось регулярное нарастание интеграль-

[1] Миллионная доля полусферы Солнца = $3 \cdot 10^6$ тыс. км$^2$.

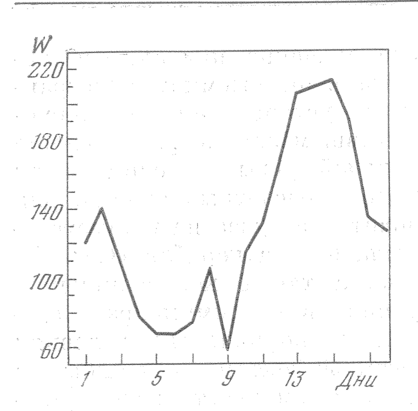



Рис. 15. Общий уровень солнечной активности ($W$ — число Вольфа) во время полета корабля «Союз-9» в июне 1970 г.

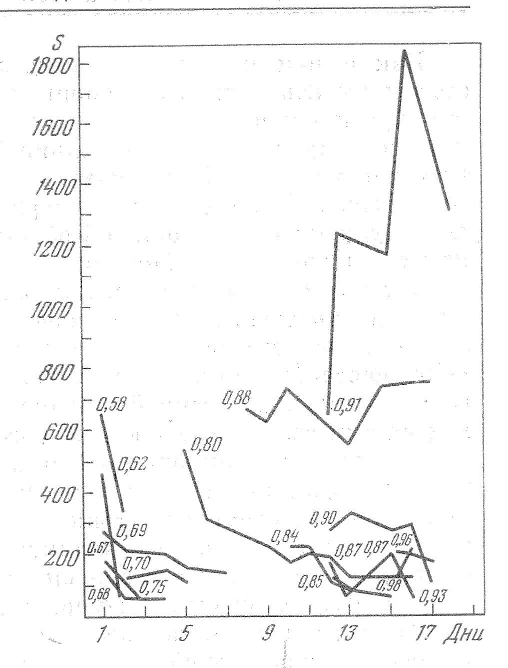
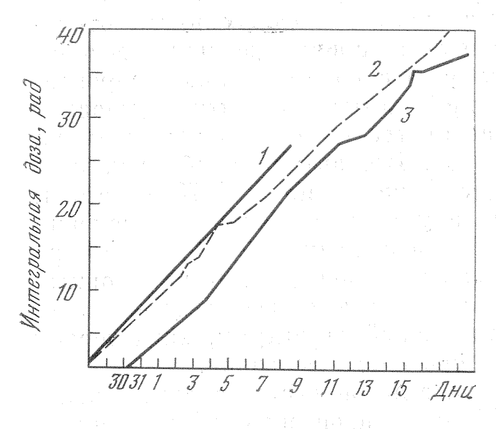



Рис. 16. Изменение площадей активных областей на Солнце во время полета корабля «Союз-9» в июне 1970 г.

$S$ — площадь активных областей в миллионных долях полусферы Солнца; цифры — номера активных областей



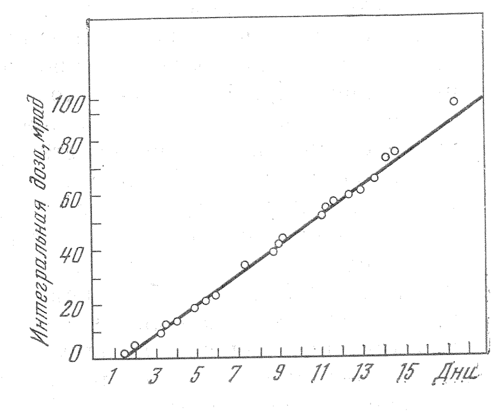




Рис. 17. Результаты измерений космической радиации на ИСЗ «Молния-1» во время полета космического корабля «Союз-9» в июне 1970 г.

1 — ИСЗ, запущенный 5.VII 1968 г.; 2 — ИСЗ, запущенный 19.II 1970 г.; 3 — ИСЗ, запущенный 5.X 1968 г.

Рис. 18. Изменение дозы космической радиации на корабле «Союз-9» во время полета в июне 1970 г.

ной дозы (рис. 17). Некоторые отклонения дозы от линейного хода, наблюдавшиеся на двух спутниках «Молния» в период с 17 до 19 июня, были связаны с возмущениями во внешнем радиационном поясе Земли.

Подтверждением нормальной радиационной обстановки во время полета служили и показания бортовых радиометров. Нарастание дозы со временем происходило линейно (рис. 18), что соответствует невозмущенной радиационной обстановке, при которой доза за виток определяется только постоянными источниками излучений на данной траектории (галактическое космическое излучение, радиационный пояс Земли). Незначительное возрастание мощности дозы в период с 15 по 18 июня так же, как и флюктуации мощности дозы, зарегистрированное на искусственном спутнике Земли «Молния-1», объясняется имевшими место возмущениями во внешнем радиационном поясе Земли.

Интегральная доза космической радиации в корабле, по данным бортовых радиометров, составила к моменту завершения полета 195 мрад при мощности дозы 11 мрад/сутки.



Таблица 21. **Индивидуальные дозы радиации у космонавтов, совершивших полеты на космических кораблях «Союз»**

| Корабль | Дата запуска | Космонавт | Продолжительность полета, сутки | Средняя интегральная доза, мрад | Средняя мощность дозы, мрад сутки |
|---|---|---|---|---|---|
| «Союз-3» | 26.X 1968 г. | Г. Т. Береговой | 4 | 85 | 21,2 |
| «Союз-4» | 14.I 1969 г. | В. А. Шаталов | 3 | 59 | 19,7 |
| «Союз-5» | 15.I 1969 г. | Б. В. Волынов | 3 | 71 | 23,7 |
| | | А. С. Елисеев | 2 | 63 | 31,5 |
| | | Е. В. Хрунов | 2 | 61 | 30,5 |
| «Союз-6» | 11.X 1969 г. | Г. С. Шонин | 5 | 72 | 14,4 |
| | | В. Н. Кубасов | 5 | 69 | 13,7 |
| «Союз-7» | 12.X 1969 г. | А. В. Филипченко | 5 | 68 | 13,6 |
| | | В. Н. Волков | 5 | 58 | 11,6 |
| | | В. В. Горбатко | 5 | 64 | 12,8 |
| «Союз-8» | 13.X 1969 г. | В. А. Шаталов | 5 | 73 | 14,5 |
| | | А. С. Елисеев | 5 | — | — |
| «Союз-9» | 1.VI 1970 г. | А. Г. Николаев | 18 | 237 | 13,2 |
| | | В. И. Севастьянов | 18 | 408 | 22,6 |
| «Союз-10» | 23.IV 1971 г. | В. А. Шаталов | 2 | 132 | 66,0 |
| | | А. С. Елисеев | 2 | 150 | 75,0 |
| | | Н. Н. Рукавишников | 2 | 141 | 70,5 |
| «Союз-12» | 27.IX 1973 г. | В. Г. Лазарев | 2 | 101 | 50,5 |
| | | О. Г. Макаров | 2 | 111 | 55,5 |
| «Союз-13» | 18.XII 1973 г. | П. И. Климук | 8 | 118 | 14,7 |
| | | В. В. Лебедев | 8 | 102 | 12,7 |
| «Союз-15» | 26.VIII 1974 г. | Г. Ф. Сарафанов | 2 | — | — |
| | | Л. С. Демин | 2 | — | — |
| «Союз-16» | 2.XII 1974 г. | А. В. Филипченко | 6 | 88 | 14,5 |
| | | Н. Н. Рукавишников | 6 | 78 | 13,0 |

Обеспечение радиационной безопасности полетов пилотируемых космических кораблей «Союз-10, 12, 13, 15 и 16» проводилось по схеме, аналогичной вышеописанной. Радиационная обстановка в период проведения этих полетов (1971—1974 гг.) была спокойной, что связано, в частности, с фазой спада 11-летнего цикла солнечной активности. В это время уменьшилась вероятность возникновения протонных солнечных вспышек и соответственно радиационная опасность для экипажей космических кораблей. Вместе с тем в минимуме солнечной активности возрастал поток ГКИ, что привело к соответствующему увеличению среднесуточной дозы космической радиации в корабле.

В табл. 21 представлены результаты измерений индивидуальных доз космонавтов, совершивших космические полеты на кораблях «Союз», зарегистрированные при помощи термолюминесцентных дозиметров ИД-3.

Значения величин доз, приведенных в табл. 21, позволяют сделать следующие выводы:

1. Радиационная обстановка на трассе полета космических кораблей «Союз» в условиях отсутствия мощных солнечных вспышек была спокойной.

2. Величины суточных доз зависят от фазы цикла солнечной активности.

3. Различия в уровне индивидуальных доз радиации членов одного и того же экипажа свидетельствуют о неоднородности поля излучения внутри корабля (передвижение космонавтов, экранировка оборудованием и т. п.).

4. Индивидуальные дозы космонавтов пилотируемых кораблей «Союз 3—16» были значительно меньше допустимых.

# Глава 6. МЕДИЦИНСКИЙ КОНТРОЛЬ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ КОСМОНАВТОВ ВО ВРЕМЯ ПОЛЕТОВ

## СИСТЕМА МЕДИЦИНСКОГО КОНТРОЛЯ

Во время полетов космических кораблей «Союз» для оперативного медицинского контроля состояния здоровья космонавтов использовались следующие источники информации: результаты анализа радиопереговоров экипажей с наземными пунктами; данные телевизионного наблюдения за космонавтами; словесный отчет космонавтов о своем самочувствии; анализ эффективности выполнения членами экипажей программы полета в целом и отдельных ее элементов; анализ параметров, характеризующих состояние микроклимата обитаемых отсеков корабля; данные телеметрической регистрации основных физиологических параметров у космонавтов; данные предполетных обследований, в том числе и в условиях, имитирующих полетные.

В зависимости от конкретной программы и этапа полета медицинский контроль проводился непрерывно или периодически.

Непрерывно контроль осуществлялся на участке выведения корабля на орбиту, а также во время выполнения космонавтами отдельных наиболее ответственных и опасных операций, таких, как, например, переход из одного корабля в другой. В остальном контроль за состоянием космонавтов производился во время сеансов радиотелеметрической связи корабля с Землей, т. е. в течение 5—10 мин. через каждые 1,5 часа полета, кроме периода, когда корабль находился вне зон радиовидимости.

Бортовая аппаратура медицинского контроля обеспечивала измерение и передачу на наземные измерительные пункты в зонах прямой радиовидимости по радиотелеметрической линии связи электрокардиограммы (ЭКГ), сейсмокардиограммы (СКГ), пневмограммы (ПГ) и частоты сердечных сокращений (ЧП) каждого космонавта.

Аппаратура состояла из физиологических датчиков с системами их фиксации и кабелями отведений, усилительно-преобразовательного блока и пульта медицинского контроля (рис. 19).

Съем медицинской информации осуществлялся при помощи системы физиологических датчиков, установленных на теле космонавтов (рис. 20).

В состав этой системы входили два комплекта серебряных электрокардиографических электродов, сейсмокардиографический датчик и датчик дыхания, а также элементы, предназначенные для фиксации указанных датчиков и электродов на теле космонавта. От датчиков и электродов отходят кабели отведений, оканчивающиеся разъемами.

Один из комплектов электродов (три коробчатых электрода) был предназначен для регистрации ЭКГ в покое и при ограниченной двигательной активности космонавтов, другой — сетчатые электроды — для регистра-

ции ЭКГ в условиях повышенной двигательной активности (рис. 21, 22). Конструкция коробчатых электродов позволяет применять их в течение многих суток без добавления пасты. Токопроводящая паста находится в коробочке, одной из сторон которой является собственно электрод — серебряная пластина. В пластине имеются отверстия, через которые паста поступает из коробочки на пористую резиновую прокладку, расположенную между электродом и поверхностью кожи. Пропитывая пористую прокладку, паста обеспечивает электрический контакт электрод—кожа.

Активные коробчатые электроды располагаются по средним подмышечным линиям справа и слева, а нулевой — между среднеключичной и передней подмышечной линиями справа.

Сетчатые электроды представляют собой круглые пластинки, диаметром 12 мм, из серебряной фольги, покрытые слоем хлористого серебра и заключенные между хлорвиниловыми пластинками, одна из которых, обращенная к коже, имеет отверстия для заполнения полости электрода токопроводящей пастой. Сетчатые электроды фиксируются на теле при помощи клея: активные — один в средней трети грудины, другой — по среднеключичной линии на уровне шестого ребра; нулевой — в нижней трети грудины.

Фиксация электродов в этом отведении позволяет регистрировать ЭКГ при любых движениях обследуемого. В условиях космического полета ЭКГ при помощи указанных электродов регистрировалась у одетых в скафандры космонавтов Е. В. Хрунова и А. С. Елисеева во время их перехода из корабля в корабль.

Регистрация СКГ осуществлялась при помощи датчика индукционного типа (рис. 23). Этот датчик фиксируется на верхней горизонтальной лямке в области верхушечного толчка в матерчатом кармане. В покое на СКГ четко выделяются два колебательных комплекса, возникающих в результате механической деятельности сердца. При движениях обследуемого с помощью датчика СКГ регистрируется актограмма.

Для регистрации дыхания использовался датчик сопротивления в виде резиновых трубок, соединенных параллельно и заполненных угольным порошком. Он регистрирует изменения периметра грудной клетки, возникающие в процессе дыхания. Датчик фиксируется на передней поверхности нижней горизонтальной лямки системы фиксации.

Система, фиксирующая электроды и датчики, включает в себя две горизонтальные лямки со ступенчатыми застежками на концах (рис. 24). Верхняя лямка, на которой располагаются сейсмокардиографический датчик и коробчатые электроды, имеет две эластичные вставки — заднюю и переднюю, которые предохраняют электроды от смещений во время дыхательных движений и позволяют уменьшить искажения ЭКГ, обусловленные воздействием дыхательных движений грудной клетки на стабильность контакта электрод — кожа. На нижней лямке эластичная вставка одна, на ней расположен датчик дыхания.

Расположенные на концах горизонтальных лямок ступенчатые застежки позволяют дозированно увеличивать или уменьшать степень прилегания датчиков к телу.

Эластичные бретели предотвращают сползание лямок вниз. В треугольной вставке бретелей имеется карман, в который укладываются сетчатые электроды, когда они не используются.



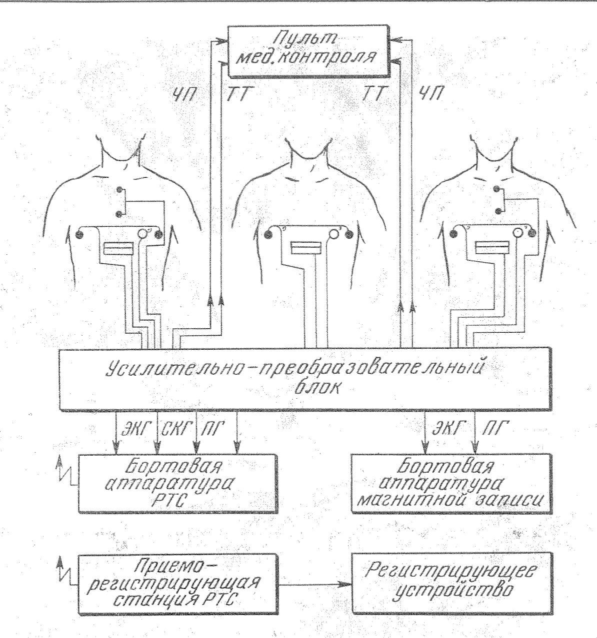



Рис. 19. Блок-схема аппаратуры медицинского контроля

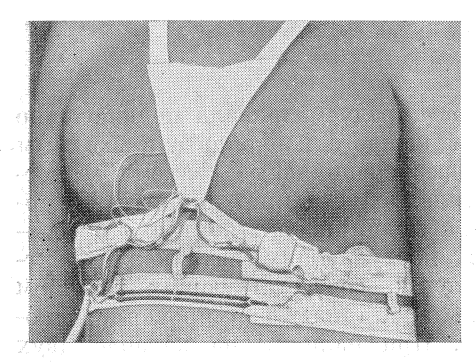


Рис. 20. Физиологические датчики и системы их фиксации

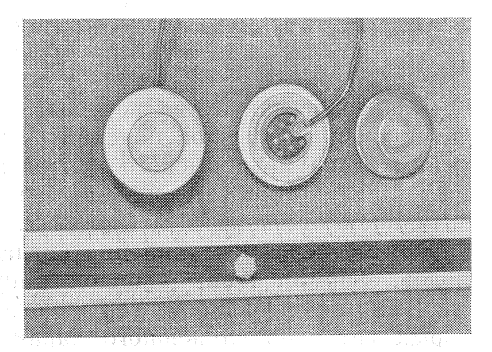


Рис. 21. Коробчатые электрокардиографические электроды

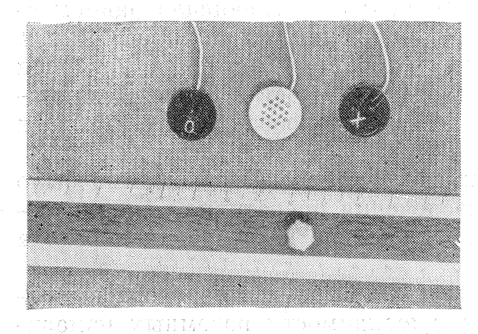


Рис. 22. Сетчатые электроды

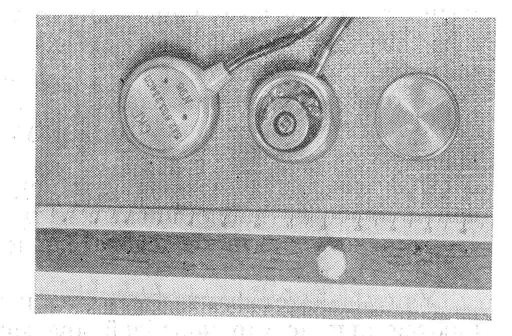


Рис. 23. Сейсмокардиографический датчик

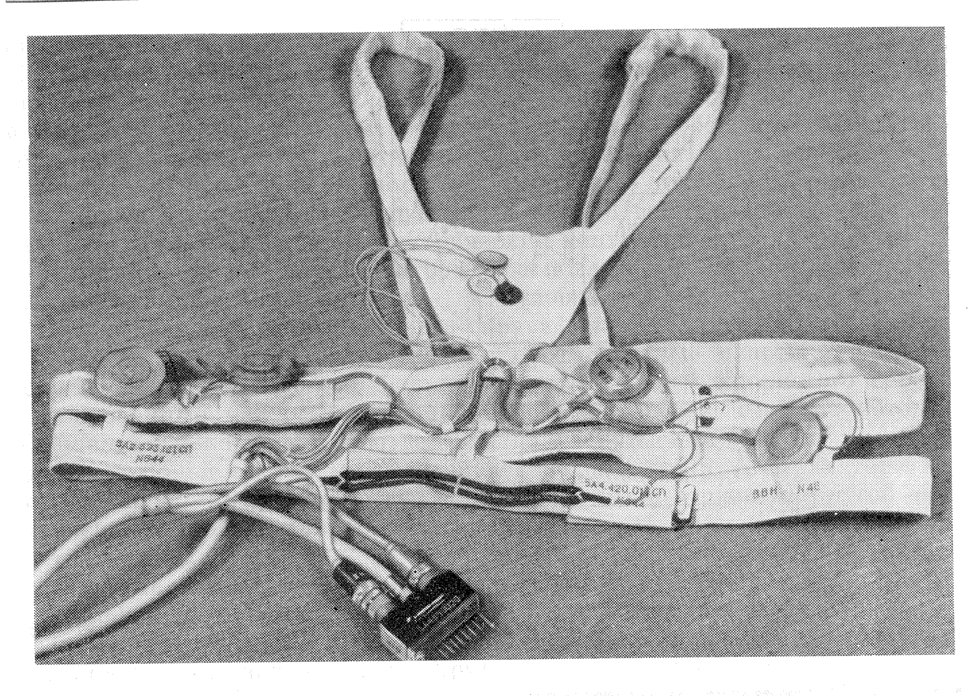


Рис. 24. Система фиксации, датчики и кабель отведения с разъемом

Электрическая схема кораблей «Союз» предусматривала подключение датчиков и электродов поясной системы каждого космонавта к входным цепям блока медицинского контроля через специальные разъемы, ответные части которых размещены на креслах спускаемого аппарата, в орбитальном отсеке и в скафандрах. Блок медицинского контроля обеспечивает необходимое усиление сигналов, поступающих с датчиков и электродов, формирование уровней напряжения, соответствующих текущим значениям длительности сердечного цикла, а также формирование некоторых сигналов служебного характера. При наличии на корабле двух или трех космонавтов для передачи информации на Землю использовался режим периодического контроля (с циклом в 3 мин. и с временем передачи информации с одного космонавта в 1 мин.), при полете одного космонавта — режим непрерывного контроля. Это обеспечивало равномерную загрузку телеметрических каналов для различных по программе и составу экипажей космических полетов. Выбранная методика контроля была технически реализована за счет введения в состав блока медицинского контроля электронного коммутатора со стробированием от бортовых хронизаторов.

При разработке аппаратуры медицинского контроля необходимо было найти наиболее рациональные пути обеспечения оперативной оценки состояния космонавта-исследователя и бортинженера на этапе их перехода из корабля в корабль.

Учитывая тот факт, что отдельные этапы программы перехода выполняются при полете кораблей вне зон радиовидимости наземных измерительных пунктов, когда из физиологических показателей регистрируется лишь частота пульса, оказалось целесообразным передать контроль в этом периоде непосредственно командирам. Командиры имели информацию об изменениях частоты сердечных сокращений и температуры тела выходящих из корабля космонавтов, были обучены оценке состояния здоровья «выходящих» по показаниям пульта медицинского контроля, снабжены таблицами, регламентирующими двигательную активность «выходящих», и имели возможность при необходимости оперативно влиять на их действия (схема 2).



<table>
<tr><td rowspan="3">Температура тела</td><td>Лампочка горит</td><td rowspan="3">Выход запрещен</td><td>Выход разрешен при хорошем самочувствии</td><td colspan="2">Выход запрещен</td><td>Работу прекратить</td></tr>
<tr><td>Лампочка мигает</td><td rowspan="2">Работа разрешена</td><td>Выход разрешен при хорошем самочувствии</td><td rowspan="2">Разрешена работа с отдыхом</td><td>Выход запрещен</td></tr>
<tr><td>Лампочка не горит</td><td></td><td>Разрешена работа с отдыхом</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>50 60 120<br>Белый сектор</td><td colspan="2">130<br>Желтый сектор</td><td colspan="2">170 190 210<br>Красный сектор</td></tr>
</table>

Частота пульса

Схема 2. Регламентация рабочей деятельности

Автономная система медицинского контроля, обеспечивающая оценку состояния двух космонавтов по частоте пульса и температуре тела, была введена, несмотря на то, что скафандр с достаточным запасом обеспечивал теплосъем при имитации на Земле выполнения штатной программы перехода.

В состав аппаратуры автономного медицинского контроля входили: усилительно-преобразовательный блок, пульт медицинского контроля с необходимыми средствами отображения информации и ректальные датчики температуры тела с системами фиксации.

Индикатором частоты пульса являлся стрелочный прибор, размещенный на пульте медицинского контроля в корабле «Союз».

Датчик для измерения температуры тела, выполненный в виде металлической оливы, непосредственно перед одеванием скафандров вводился в ампулу прямой кишки самими космонавтами.

Индикаторами температуры тела на пульте медицинского контроля кораблей «Союз» были сигнальные лампочки с двумя режимами свечения, соответствующими двум пороговым значениям измеряемой величины.

На космическом корабле «Союз-9» использовалась та же аппаратура медицинского контроля, что и в предыдущих полетах кораблей «Союз». Однако в систему физиологических датчиков и методику ее применения были введены некоторые усовершенствования в связи со значительным увеличением срока полета.

В полете регистрировались ЭКГ в отведении «DS», СКГ, ПГ и ЧП каждого из членов экипажа. Все физиологические датчики и электроды фиксировались к телу космонавтов при помощи эластичных матерчатых лямок.

Главными из усовершенствований методики применения физиологических датчиков являлись:

1) самостоятельное одевание и снятие космонавтами системы физиологических датчиков;

2) ежедневная, в случае непрерывного ношения электрокардиографических электродов, их перестановка на другие участки кожи таким образом, что на каждом из отведенных для этой цели участков кожи электрод находился одни сутки, а трое суток кожа от него была свободна. При этом космонавт сам обрабатывает кожные покровы обезжиривающей жидкостью, наносит токопроводящую пасту на электроды, а также регулирует степень натяжения эластичных лямок, фиксирующих электроды и датчики.

Указанная методика была многократно использована в ряде многосуточных исследований, в условиях имитации отдельных факторов космического полета. Результаты испытаний показали возможность ее использования на космическом корабле.

Физиологические датчики были надеты на космонавтов А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова непосредственно перед началом полета и находились на них непрерывно в течение первых суток и последних трех суток полета. В остальное время космонавты самостоятельно надевали систему датчиков и электродов перед началом сеанса регистрации физиологических показателей и снимали ее после окончания сеанса. В ходе полета каждый из космонавтов произвел надевание системы физиологических датчиков не менее 25 раз. При этом во всех случаях качество передаваемых по телеметрии и регистрируемых на Земле записей было хорошим. Космонавты А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов отмечают, что надевание и снятие системы физиологических датчиков не встретило у них затруднений и занимало не более 5—10 мин.

Как во время полета, так и после него выраженных неприятных ощущений или воспалительных изменений кожных покровов, связанных с ношением физиологических датчиков, у членов экипажа не наблюдалось.

Во время полета корабля «Союз-9» для проведения медицинского контроля предусматривалось выполнение космонавтами один раз в двое суток функциональной пробы в сеанс связи. Эта проба состояла из трех серий растяжений резинового амортизатора, находящегося у космонавта за спиной. В каждой серии производилось 10 растяжений (1 раз в секунду). Между сериями предусматривались интервалы длительностью 5 сек. Регистрация физиологических показателей производилась в покое в течение 1 мин. до начала пробы, во время выполнения пробы и в течение 2 мин. после нее. Согласно программе, каждый из космонавтов должен был выполнить эту пробу один раз в два дня в течение всех 18 суток полета.

При медицинском обеспечении сравнительно непродолжительных (до 5 суток) полетов кораблей «Союз-3, 4, 5, 6, 7, 8» съем и передача физиологических параметров по телеметрии осуществлялись практически в течение всего времени нахождения корабля в зоне радиовидимости с территории СССР. Во время 18-суточного полета корабля «Союз-9» от этой схемы сочли возможным отказаться. Как уже говорилось выше, космонавтам было разрешено самостоятельно снимать и надевать поясную систему физиологических датчиков и электродов, при этом регистрация физиологических параметров с каждого космонавта обязательно осуществлялась два раза в сутки (утром и вечером по бортовому распорядку дня). Кроме того, программой полета предусматривались дни, когда с целью контроля динамики суточной периодики физиологических параметров их регистрация осуществлялась непрерывно в течение всех сеансов телеметрической связи.



## РЕЗУЛЬТАТЫ МЕДИЦИНСКОГО КОНТРОЛЯ В ПОЛЕТЕ

### Общая характеристика состояния космонавтов в полете

На всем протяжении полета космонавты оценивали свое самочувствие как отличное или хорошее. Детальный анализ анамнестических данных позволил выявить некоторые интересные факты. Так, космонавт Г. Т. Береговой сообщил, что в начале полета он отмечал некоторое увеличение паузы между намерением совершить двигательный акт и самим актом, а также слабо выраженное чувство дискомфорта при резких поворотах головы. Г. Т. Береговой сообщил также, что в момент прижатия головы к ложементу при открытых глазах он испытывал чувство, будто происходит вращение корабля. Если в это время он закрывал глаза, то появлялось ощущение вращения тела. Все эти ощущения исчезали при подъеме головы, когда не было контакта с ложементом.

У А. Г. Николаева в течение первых 20 мин. пребывания в невесомости было ощущение «смещения приборной доски вверх на 30°». Кроме того, космонавты А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов сообщили, что при резких наклонах туловища или головы в том случае, когда ноги были фиксированы, они испытывали ощущения, напоминавшие те, которые имели место на Земле в момент воздействия ускорений Кориолиса.

В. Г. Лазарев и О. Г. Макаров указывали, что резкие движения туловищем и в меньшей степени головой создают ощущение нагрузки на вестибулярный аппарат, а длительное выполнение резких движений вызывает состояние, напоминающее укачивание. Очевидно, этим можно объяснить отмеченную у В. Г. Лазарева во время телерепортажа на третьем витке некоторую скованность и осторожность движений. При прекращении движений эти явления исчезали.

Члены экипажа корабля «Союз-13» (П. И. Климук, В. В. Лебедев) также при резких движениях ощущали своеобразную нагрузку на вестибулярный аппарат. У П. И. Климука эти ощущения были более выражены и сопровождались в первый день поташниванием. Однако через 2—3 дня у него все эти явления исчезли и в дальнейшем не возникали.

С выходом в состояние невесомости почти все космонавты испытывали субъективные ощущения прилива крови к голове. По словам космонав-

тов, это ощущение было примерно таким же, которое испытывает человек в условиях Земли при положении головой вниз, и сопровождалось одутловатостью и покраснением кожи лица, а также покраснением склер глаз. Интенсивность ощущения прилива крови к голове после первых суток полета обычно уменьшалась и в дальнейшем сглаживалась. Однако при фиксации внимания на этом ощущении, оно вновь несколько обострялось. Из данных, сообщенных космонавтами, создается впечатление, что острота ощущения прилива крови к голове заметно снижалась, когда во время так называемой закрутки корабля космонавты принимали положение по вектору центростремительной силы (головой к центру вращения).

У экипажа корабля «Союз-12» отмечалось также чувство «переполнения» грудной полости, сопровождавшееся, по словам В. Г. Лазарева, желанием «сделать несколько глубоких вдохов». Описанные явления, очевидно, связаны со специфическим для невесомости перераспределением крови в организме.

Космонавты А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов сообщили весьма интересные данные об особенностях выполнения движений в состоянии невесомости. В начале полета, как отметили космонавты, они испытывали некоторые затруднения в оценке мышечных усилий, необходимых для выполнения соответствующих движений, которые иногда оказывались несоразмерными. Однако уже к третьим-четвертым суткам космонавты обрели необходимую точность движений, что, по-видимому, указывало на выработку нового двигательного стереотипа. Отталкиваясь ногами, космонавты могли легко управлять положением тела и перемещаться в нужном направлении, практически не контролируя эти действия сознанием. В. И. Севастьянов указывал, что с помощью ног он мог легко захватывать и перемещать отдельные предметы.

Анализ данных радиопереговоров, сообщений космонавтов о самочувствии и телевизионного наблюдения позволяет определить поведение космонавтов на всем протяжении полета как правильное, адекватное конкретным ситуациям. Речь космонавтов была четкая, ясная. По данным телевизионного наблюдения движения совершались в полном объеме, нарушений координаций движений не выявлено. Теле- и радиорепортажи проводились с активным участием всех членов экипажей. При этом ответы на вопросы следовали немедленно и были адекватными. Работоспособность всех членов экипажей на всем протяжении полета сохранялась на высоком уровне. Об этом прежде всего свидетельствует выполнение сложных маневров, включая сближение и стыковку, проведение многочисленных экспериментов, а также успешное выполнение работ вне корабля.

Однако после выполнения сложных экспериментов и насыщенного трудового дня космонавты иногда отмечали некоторую усталость, которая полностью исчезала после сна. Чувство жажды в полете было несколько снижено. Естественные отправления обычно не нарушались, хотя стул не всегда был регулярным. Так, у членов экипажа «Союз-9» акт дефекации впервые был на четвертые сутки полета, а в последующем, как правило, через день. Мочеиспускание регулярное, по 2—5 раз в сутки.

Сон во время 18-суточного полета после нескольких дней адаптации был глубоким, его продолжительность составляла 7—9 час., он всегда приносил свежесть и бодрость. Засыпали быстро, примерно как на Земле. В. И. Севастьянов предпочитал спать в спальном мешке, не фиксируясь. Он в первый день полета иногда засыпал в свободное время на 10—15 мин. на рабочем месте. Иногда экипажи, желая как можно больше увидеть и лучше выполнить программу, сокращали время ночного сна и личное время. Тем не менее это на работоспособности отрицательно не сказывалось.



## Изменения основных физиологических показателей в полете

Полученные в процессе подготовки и проведения космических полетов данные группировались в соответствии с основными этапами полета (схема 3). При этом выделялись следующие периоды: предполетный (за 2—3 недели до полета); предстартовый, включающий результаты исследования за несколько часов и за 5—1 минуту до старта, выведения корабля на орбиту или активный участок полета; орбитальный полет и участок спуска. В орбитальном полете, в свою очередь, выделялись начальный (1—7 витки), первый (13—23 витки), второй (29—39 витки) и т. д. периоды орбитального полета, а также предпусковой период, включающий последние 3—4 витка перед спуском.

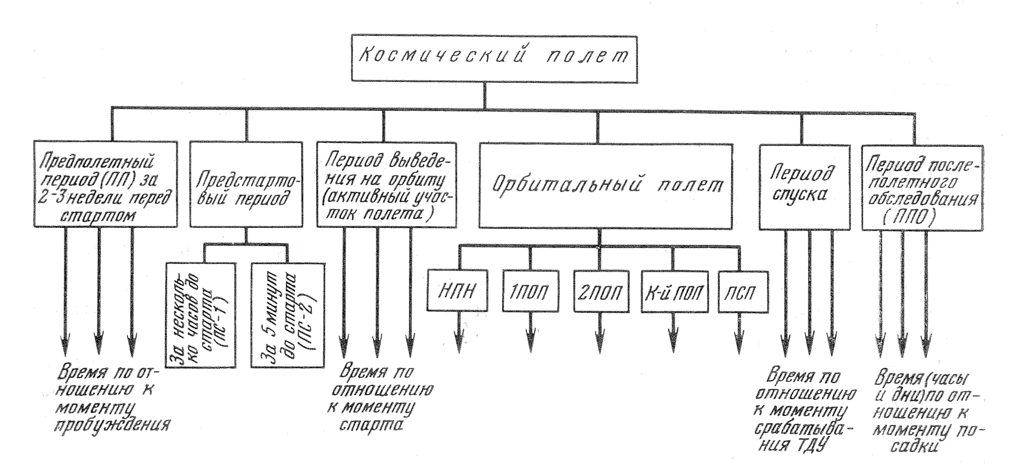



Схема 3. Периоды полета

Описанная группировка с учетом измерения физиологических показателей отдельно на вдохе и выдохе и при одинаковых условиях проведения летных экспериментов позволяет изучить влияние на физиологические показатели следующих качественных факторов и их взаимодействий: условий проведения эксперимента (длительность полета, фактор A, градации — периоды полета), суточной ритмики (фактор B, градации — номера сеансов связи от момента пробуждения), индивидуальных особенностей организма (фактор G, градации — отдельные индивидуумы), дыхания (фактор D, градации — фазы дыхания).

Факторы A, B и D являются постоянными, причем фактор B группируется по фактору A, а фактор D — по фактору G[1], фактор G является в статистическом смысле случайным, поскольку члены экипажей отбираются случайным образом из достаточно больших контингентов.

К числу факторов, которые регистрируются во время полета и имеют количественное выражение, относятся прежде всего факторы, связанные с длительным пребыванием в герметической кабине космического корабля. Это — общее атмосферное давление в кабине, парциальное давление кислорода и углекислоты, температура и влажность.

Для оценки влияния перечисленных факторов на физиологические показатели на основании правил, изложенных в работах Р. А. Фишера (1958) и Дж. У. Снедекора (1961), были построены уравнения математических моделей, в соответствии с ними выведены рабочие формулы и разработаны схемы проведения дисперсионного и ковариационного анализов.

Нахождение оценок для главных эффектов, взаимодействия[2] и коэффициентов регрессии производилось на основе теории наименьших квадратов.

Взаимодействие факторов рассматривается как указание на разную направленность изменения физиологических показателей под влиянием одного фактора при различных градациях другого фактора. В этом случае производился дисперсионный анализ отдельно для каждой градации одного из факторов.

В случае выявления статистически значимых главных эффектов производилось сравнение средних по периодам полета или виткам с применением F- и T- метода множественного сравнения для выявления различий между ними.

Кроме того, средние величины физиологических показателей по виткам подвергались выравниванию по методу наименьших квадратов и представлялись в виде уравнений.

В результате обработки медицинской информации были выявлены общие закономерности изменения физиологических показателей под влиянием факторов и условий полета и, прежде всего, такого интегрального показателя, как частота сердечных сокращений.

Количественная оценка изменений частоты сердечных сокращений, частоты дыхания и основных показателей электрокардиограммы не выявила различий в динамике этих показателей у разных космонавтов на активном участке полета и в периоде спуска.

Так, при помощи двухфакторного (частота сердечных сокращений и частота дыхания) и трехфакторного (показателя ЭКГ) дисперсионного анализа в периоде выведения кораблей на орбиту не выявлено взаимодей-

[1] В тех случаях, когда каждый уровень одного фактора сочетается лишь с одним уровнем другого фактора, принято говорить, что первый фактор группируется по второму.

[2] Под главными эффектами понимается влияние, оказываемое отдельными факторами, что проявляется превышением среднего, соответствующего их определенным градациям, над генеральным средним, относящимся ко всему эксперименту в целом. Эффект взаимодействия проявляется в том, что изменения изучаемого физиологического показателя под влиянием одного фактора различны при разных градациях другого фактора, т. е. конечный эффект не равен сумме эффектов, вызываемых каждым фактором в отдельности.



ствия факторов длительности полета на этом участке с индивидуальными особенностями организма, что указывает на одинаковую направленность изменений физиологических показателей у различных космонавтов.

Различия между средними величинами физиологических показателей (усреднение производилось по членам экипажей) при различных градациях фактора длительности полета в периоде выведения кораблей на орбиту не было статистически значимым. В то же время влияние индивидуальных особенностей организма (фактор G) на физиологические показатели было статистически значимым, т. е. физиологические показатели у разных космонавтов отличались друг от друга.

При исследовании в периоде 5-минутной готовности у всех космонавтов резко увеличивалась частота сердечных сокращений и укорачивались временны́е показатели ЭКГ. Эти изменения достигали еще бо́льшей выраженности на первой-второй минутах полета на активном участке и в дальнейшем имели тенденцию к уменьшению.

Временны́е показатели ЭКГ в периоде выведения у всех космонавтов изменялись в тесной зависимости от динамики частоты сердечных сокращений. Наиболее выраженное укорочение временны́х показателей ЭКГ отмечалось на первой — третьей минутах этого периода, а в дальнейшем имела место тенденция к их медленной нормализации.

На участке спуска, при вхождении в плотные слои атмосферы и посадке, частота сердечных сокращений у членов экипажей кораблей «Союз-3, 4, 5, 6, 7, 8» резко увеличивалась (в среднем за весь спуск до 90—123 уд/мин и существенно превышала величины, наблюдавшиеся в предполетный период и в орбитальном полете.

Статистически значимых различий в направленности изменений частоты сердечных сокращений у членов экипажей кораблей «Союз-6, 7, 8», физические условия спуска которых были практически одинаковыми, при помощи двухфакторного дисперсионного анализа (фактор B — длительность периода спуска, фактор G — индивидуальные особенности организма) не выявлено ($F_{BG}=0,96<F_{0,05};\ 1,35=4,12$).

По данным дисперсионного анализа во время орбитального полета в условиях пребывания космонавтов в одном корабле в отношении частоты сердечных сокращений, частоты дыхания и других показателей сердечной деятельности имел место значимый эффект взаимодействия длительности орбитального полета с индивидуальными особенностями организма (взаимодействие факторов A×G и B×G). Это означает, что в отличие от однонаправленных изменений на участках выведения и спуска во время орбитального полета изменения физиологических показателей были разнонаправленными.

Влияние длительности полета (фактор A), суточной ритмики (фактор B), а иногда и дыхания (фактор D) на частоту сердечных сокращений, показатели ЭКГ и СКГ членов экипажей кораблей «Союз» почти во всех случаях было статистически значимым.

По данным ковариационного анализа влияние колебаний параметров микроклимата обитаемых отсеков на частоту сердечных сокращений и частоту дыхания членов экипажей кораблей «Союз-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9» было, как правило, статистически значимым. Однако эти влияния не были определяющими, так как величина остаточной дисперсии по F-критерию практически во всех случаях превосходила дисперсию ошибки при $P\leqslant 0,01$.

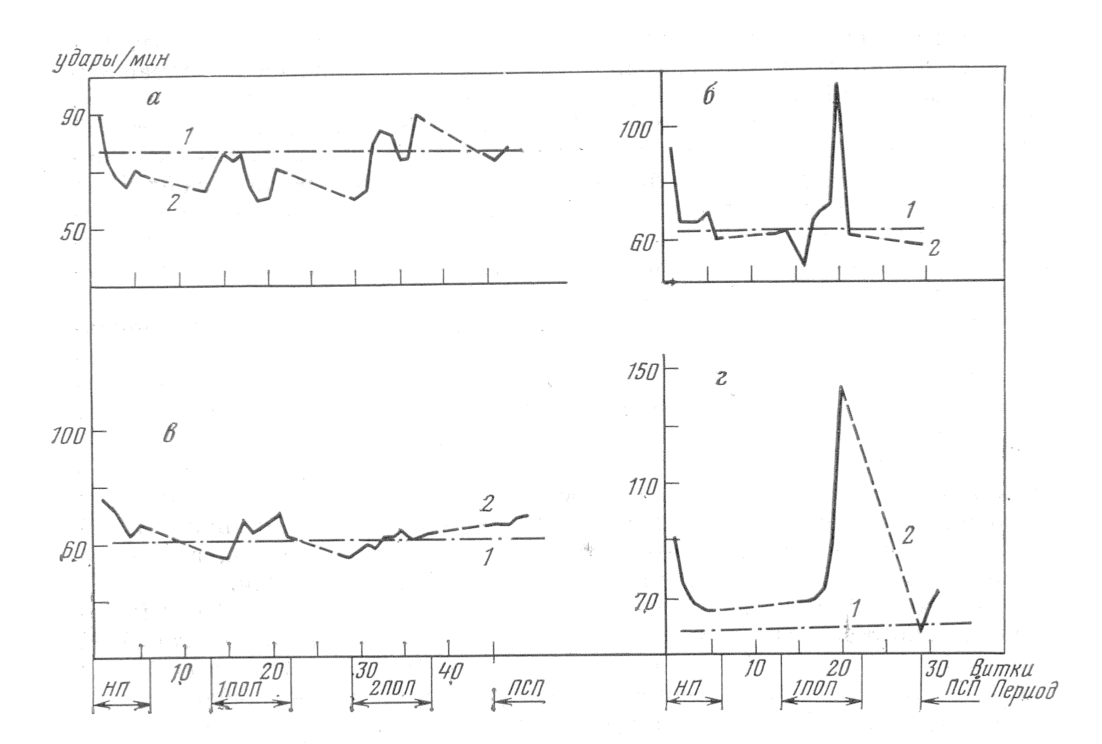



**Рис. 25. Частота сердечных сокращений у членов экипажей космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» в орбитальном полете**

а — В. А. Шаталов;
б — А. С. Елисеев;
в — Б. В. Волынов;
г — Н. В. Хрунов;
1 — в предполетном периоде;
2 — в полете;
НП — начальный период орбитального полета (1—7 виток);
1ПОП — первый период (13—23 виток);
2ПОП — второй период (29—39 виток);
ПСП — предспусковой период (последние 3—4 витка)

После выхода кораблей на орбиту частота сердечных сокращений и другие физиологические показатели имели тенденцию к медленной нормализации. У членов экипажей космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» частота сердечных сокращений после 5—6 витков достигала предполетных величин и в дальнейшем (вне периодов работы в разгерметизированных отсеках корабля и в открытом космосе) удерживалась на более низком среднем уровне, чем в предполетном периоде или же не отличалась от него (рис. 25).

У космонавтов А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова в последней трети полета частота сердечных сокращений имела тенденцию к увеличению и практически достигала предполетных величин (рис. 26).

Реакция со стороны частоты сердечных сокращений на стандартную физическую нагрузку у обоих космонавтов на протяжении полета не претерпевала существенных изменений.

Динамика электрической системы и систолического показателя во время орбитального полета, хотя и определялась частотой сердечных сокращений, тем не менее величины этих показателей и отклонение от них должных величин обычно или не отличались от предполетных или были меньше их. Длительность периода асинхронного сокращения сердца у членов экипажей кораблей «Союз-4» и «Союз-5» во всех случаях несколько превышала исходные величины (рис. 27).



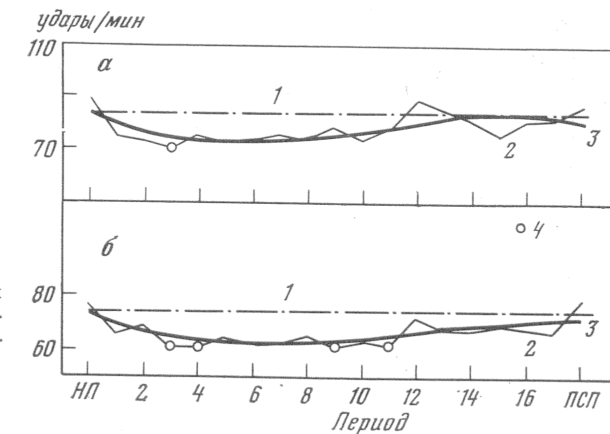



**Рис. 26. Средние величины частоты сердечных сокращений у членов экипажа космического корабля «Союз-9» в орбитальном полете**

а — А. Г. Николаев,
б — В. И. Севастьянов;
1 — состояние бодрствования (предполетный период);
2 — разные периоды орбитального полета;
3 — сглаженная кривая, характеризующая направленность изменений физиологических показателей в орбитальном полете;
4 — средняя величина показателя в данном периоде статистически значимо ($P<0{,}05$) отличается от средней величины предполетного периода
НП — начальный период орбитального полета;
ПСП — предспусковой период;

Длительность электромеханической систолы изменялась в тесной зависимости от частоты сердечных сокращений. При этом их средние величины, а также разность между ними и должными величинами почти у всех космонавтов кораблей «Союз-4» и «Союз-5» статистически значимо превышали предполетные данные (рис. 28). В связи с описанными изменениями электрической и механической систол механоэлектрический коэффициент также существенно превышал величины, наблюдавшиеся в предполетном периоде.

У космонавтов А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова длительность фазы асинхронного сокращения и величины разности между фактическими и должными величинами механической систолы также превышали фоновые данные, хотя это различие не во все периоды полета было статистически значимым (рис. 29, 30).

В момент подготовки и совершения выхода в открытый космос наблюдалось резкое, статистически значимое увеличение частоты сердечных сокращений, частоты дыхания и систолического показателя и укорочение временных показателей ЭКГ и СКГ. Уменьшались также величина механоэлектрического коэффициента и продолжительность I и II колебательных циклов СКГ.

На пультах медицинского контроля командиров кораблей не было предупредительных сигналов для ограничения рабочих операций во время

5 Заказ № 716

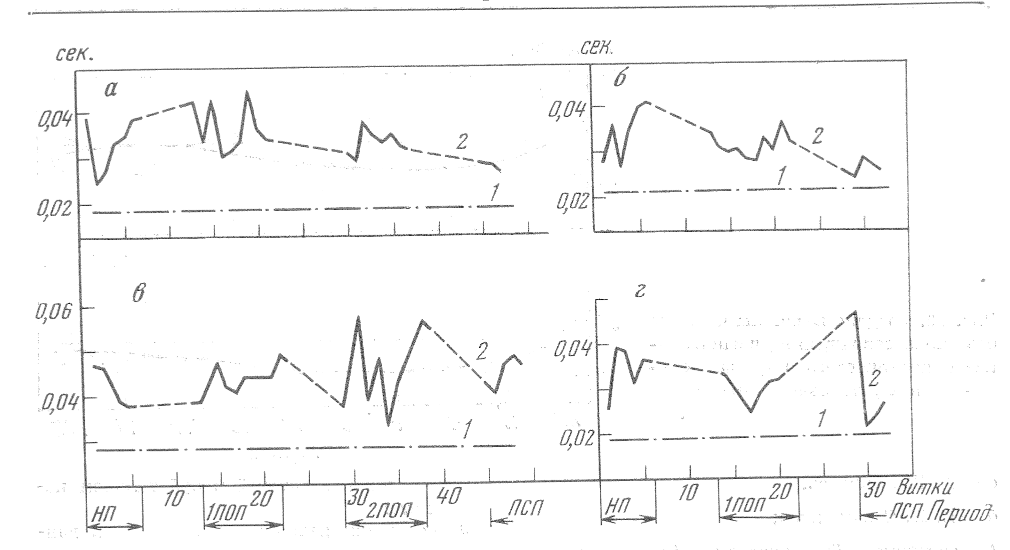



**Рис. 27. Длительность фазы асинхронного сокращения сердца у членов экипажей космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» в орбитальном полете**

Обозначения те же, что на рис. 25

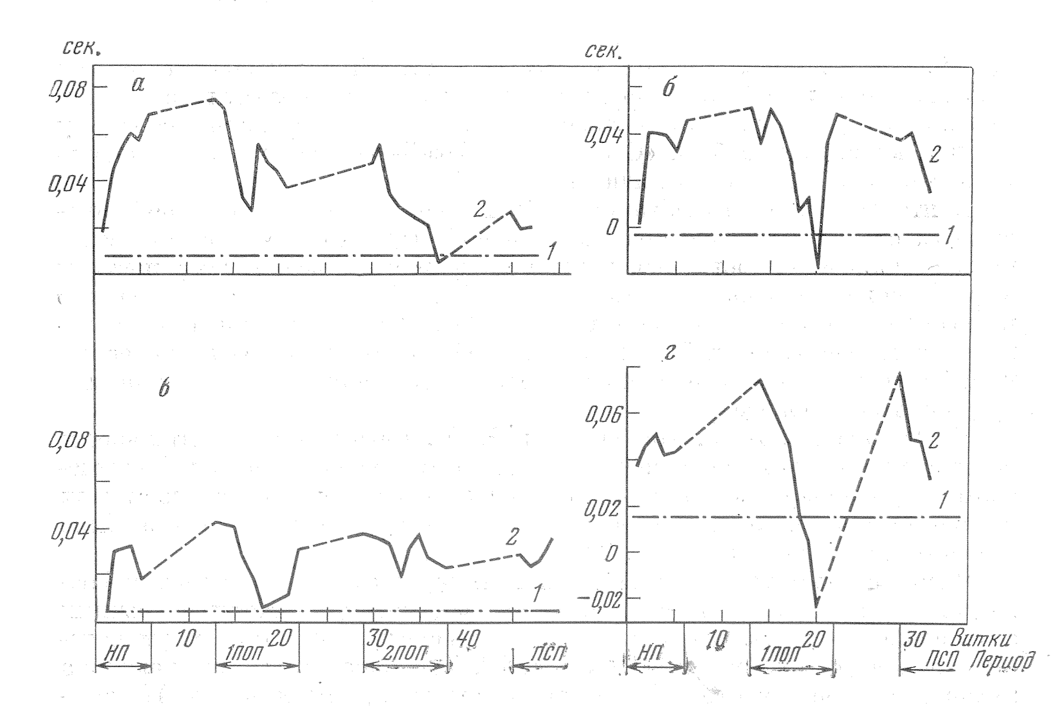



**Рис. 28. Разность между фактической и должной величиной электромеханической систолы у членов экипажей космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» в орбитальном полете**

Обозначения те же, что на рис. 25



**Рис. 29. Длительность периода асинхронного сокращения сердца у членов экипажа космического корабля «Союз-9» в орбитальном полете**

Обозначения те же, что на рис. 26

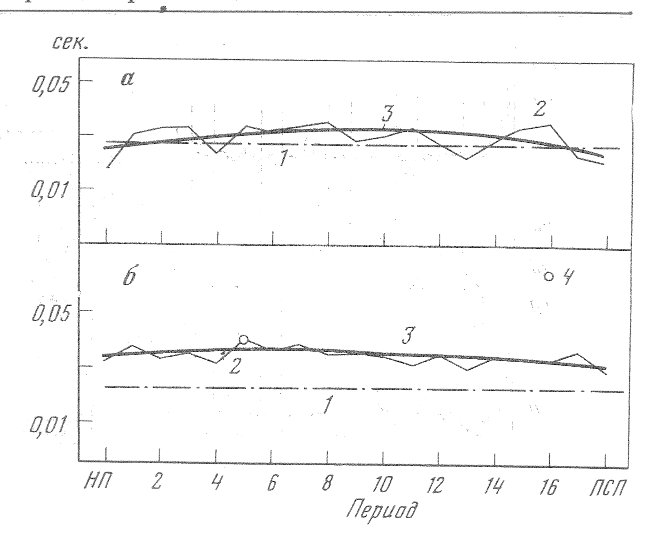
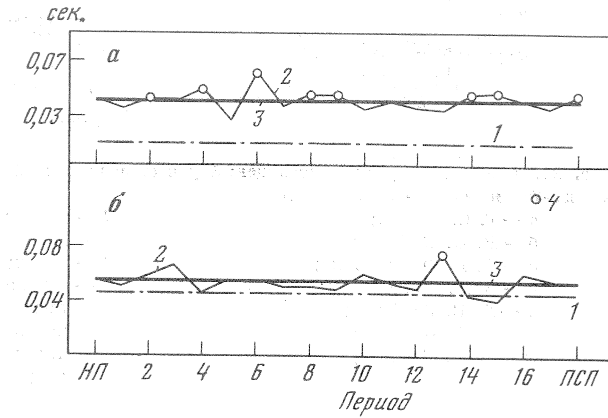



**Рис. 30. Разность между фактическими и должными величинами механической систолы у членов экипажа космического корабля «Союз-9» в орбитальном полете**

Обозначения те же, что на рис. 26




перехода. Следует заметить, что изменения физиологических показателей в период подготовки и совершения перехода не являлись неожиданными и не имели существенного различия по сравнению с данными, зарегистрированными у других космонавтов.

Данные об изменении физиологических показателей членов экипажей космических кораблей «Союз-3», «Союз-6», «Союз-7», «Союз-8» и «Союз-13» несколько отличались от результатов, полученных во время пилотируемых полетов кораблей «Союз-4», «Союз-5» и «Союз-9». Частота сердечных сокращений у членов экипажей во время полетов этих кораблей хотя и имела тенденцию медленного возвращения к предполетным величинам, тем не менее она у космонавтов В. Н. Кубасова, А. В. Филипченко практически на всем протяжении полета превышала их (рис. 31). У остальных членов экипажей, кроме А. С. Елисеева, частота сердечных сокращений в полете не имела существенного различия с предполетными данными. Длительность периода асинхронного сокращения во время полета также не отличалась от предполетных величин

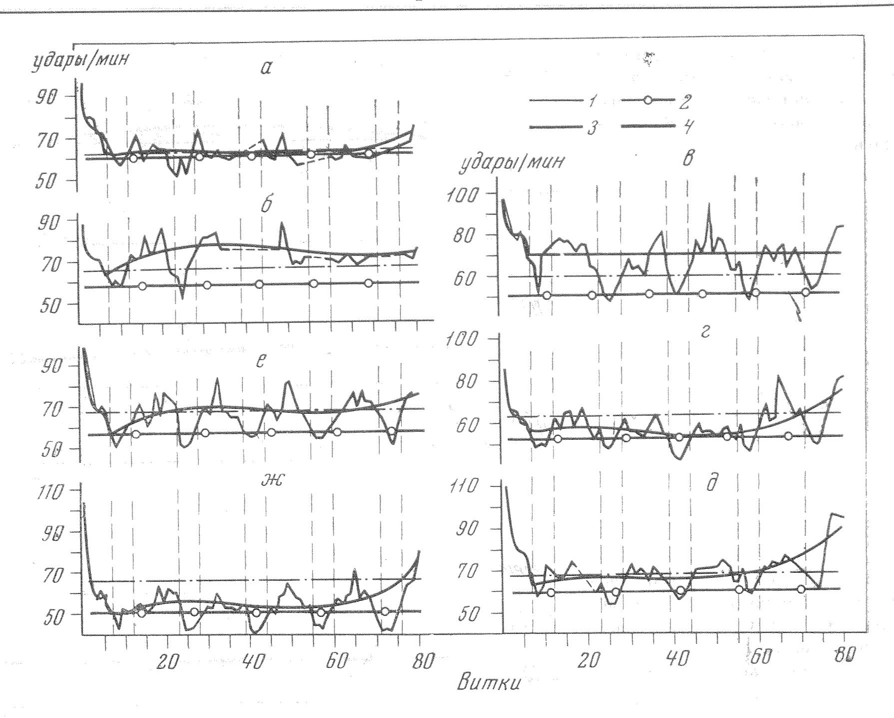


Рис. 31. Частота сердечных сокращений у членов экипажей космических кораблей «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8» в полете

а — Г. С. Шонин;
б — В. Н. Кубасов;
в — А. В. Филипченко;
г — В. Н. Волков;
д — В. В. Горбатко;
е — В. А. Шаталов;
ж — А. С. Елисеев;

1 — предполетный период, бодрствование;
2 — предполетный период, сон;
3 — полет;
4 — сглаженная кривая, характеризующая направленность изменений физиологических показателей во время орбитального полета; витки 7—12, 23—28, 39—44, 56—60, выделенные вертикальными линиями, соответствуют периодам сна космонавтов

и иногда даже была меньше их (у А. В. Филипченко) (рис. 32). Не выявлено и увеличение разностей между фактическими и должными величинами электромеханической систолы в полете во время бодрствования по сравнению с данными предполетного периода (рис. 33).

Длительность первого и второго колебательных циклов СКГ у членов экипажей кораблей «Союз-3», «Союз-6», «Союз-7», «Союз-8» и «Союз-9» в ходе орбитального полета были существенно меньше величин, зарегистрированных в предполетном периоде, тогда как отношение длительностей I и II колебательных циклов или превышало предполетные величины (Г. Т. Береговой, В. А. Шаталов, Б. В. Волынов, Е. В. Хрунов) или не отличались от них (А. С. Елисеев, А. Г. Николаев, В. И. Севастьянов). Что касается отношения амплитуд I и II колебательных циклов СКГ, то значения этого показателя в полете превышали фоновые данные или не отличались от них.

Описанные особенности изменения физиологических показателей в полете у членов экипажей космических кораблей «Союз-3», «Союз-6»,



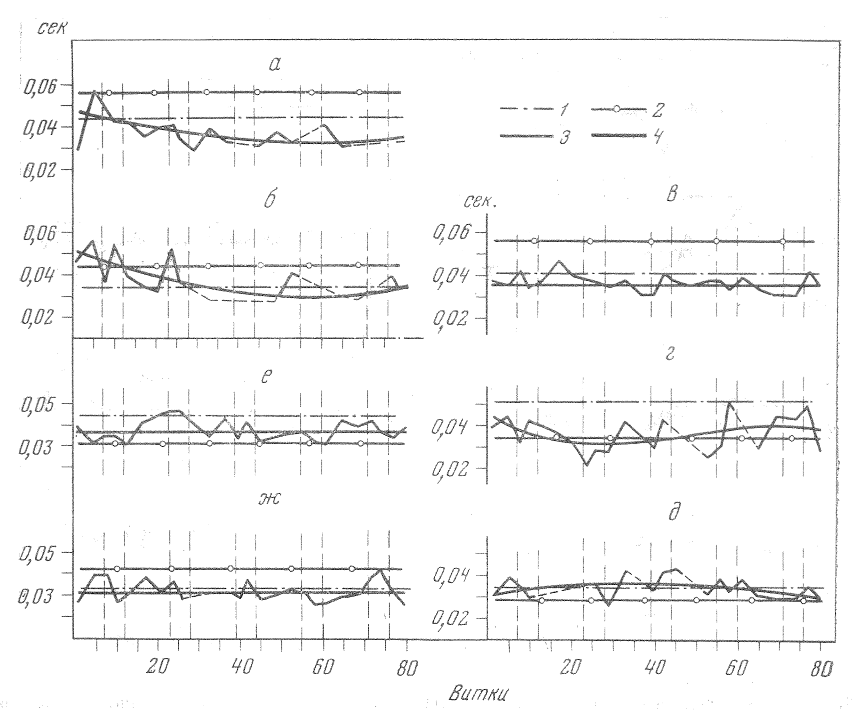


Рис. 32. Динамика длительности периода асинхронного сокращения сердца у членов экипажей космических кораблей «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8» в орбитальном полете

Обозначения те же, что на рис. 31

«Союз-7», «Союз-8» и «Союз-13» связаны, по-видимому, с нервно-эмоциональным напряжением, вызванным выполнением многочисленных маневров и других сложных операций.

Колеблемость частоты сердечных сокращений (оценка дисперсии) во время орбитального полета, как правило, превышала предполетные величины у всех членов экипажей кораблей «Союз». Колеблемость частоты дыхания в большинстве случаев не отличалась от предполетных значений.

Таким образом, рассмотренные изменения во время орбитального полета частоты сердечных сокращений, показателей электрокардиограммы и сейсмокардиограммы указывают на функциональную перестройку аппарата кровообращения, обусловленную как особенностями регуляции в данных условиях, так и изменениями гемодинамических соотношений. Вместе с тем анализ полученной информации о состоянии сердечной деятельности в орбитальном полете позволяет прийти к заключению об отсутствии нарушений сократительной функции миокарда.

* * * * *

При анализе изменений физиологических реакций в орбитальных полетах и, в частности, реакций сердечно-сосудистой системы необходимо учиты-

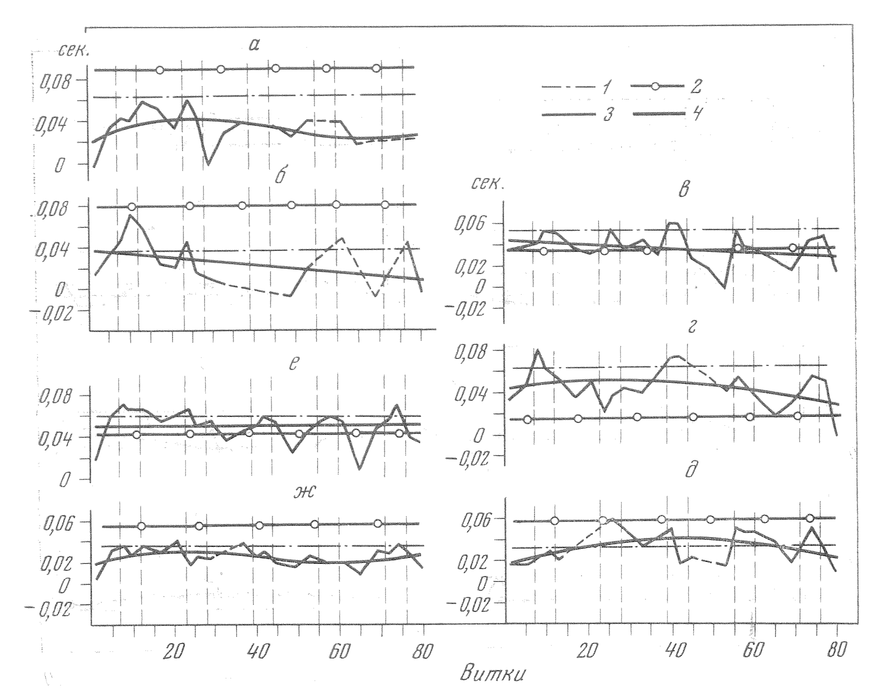



**Рис. 33. Разность между фактическими и должными величинами электромеханической систолы у членов экипажей космических кораблей «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8» в орбитальном полете**

Обозначения те же, что на рис. 31

вать условия полета, его программу, полетное задание и результаты их выполнения.

Полет корабля «Союз-3», пилотируемого летчиком-космонавтом Г. Т. Береговым, носил по сути дела испытательный характер. В его задачу входило выполнение динамических операций, в том числе сближение с кораблем «Союз-2».

Основной задачей пилотируемых полетов кораблей «Союз-4» и «Союз-5» была их стыковка и переход космонавтов А. С. Елисеева и Е. В. Хрунова из одного корабля в другой с выполнением ряда заданий в открытом космосе. Вне периодов подготовки и работы в открытом космосе полетное задание было относительно простым. Вместе с тем все динамические операции, связанные со сближением и стыковкой кораблей «Союз-4» и «Союз-5», а также подготовка, выход в космическое пространство, выполнение рабочих операций в этих условиях и переход двух космонавтов из одного корабля в другой были выполнены в полном соответствии с заранее запланированным временным графиком.

Отличительная особенность полета кораблей «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8» состояла в выполнении многочисленных динамических операций (маневры сближения, разворота, изменение орбиты, ориентация корабля, проведение астронавигационных экспериментов и др.). Это обстоятельство, а также ряд трудностей при выполнении некоторых динамических операций, сложности в управлении и координации динамических операций одновременно трех кораблей явились, по-видимому, факторами, вызывающими значительное нервно-эмоциональное напряжение космонавтов, что, естественно, не могло не сказаться на характере изменения физиологических реакций в полете.



Наконец, полет корабля «Союз-9» отличался от других пилотируемых полетов своей продолжительностью, «перевернутым» суточным ритмом (сон в дневное время) с последующим сдвигом начала каждых суток, достигшим к концу полета примерно 7—8 час., активным двигательным режимом членов экипажа (ежедневное выполнение комплекса физических упражнений общей длительностью для каждого космонавта около 2 час.), насыщенной программой динамических операций и многочисленных экспериментов.

В соответствии с особенностями программы полета и полетного задания, затруднений, связанных с их выполнением, целесообразно дифференцированно рассматривать и интерпретировать результаты физиологических исследований и медицинского контроля за состоянием членов экипажей.

Как это будет более подробно рассмотрено в дальнейшем, во время орбитального полета наибольший удельный вес в изменении физиологических показателей принадлежит, по-видимому, двум факторам: невесомости и нервно-эмоциональному напряжению. Из предыдущего изложения следует, что уровень нервно-эмоционального напряжения у членов экипажей кораблей «Союз-4» и «Союз-5» (вне периодов сближения и стыковки кораблей и выхода в открытый космос), полет которых проходил в полном соответствии с программой, был значительно менее выражен, чем у космонавта Г. Т. Берегового (полет которого носил испытательный характер) и членов экипажей кораблей «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8», выполнявших сложное маневрирование.

Описанные особенности различных полетов, обусловливающие неодинаковый уровень нервно-эмоциональной нагрузки, не могли не отразиться на характере реакций со стороны сердечно-сосудистой системы космонавтов в полете.

Во время орбитальных полетов кораблей «Союз-4», «Союз-5» и «Союз-9» был отмечен ряд общих закономерностей изменения физиологических реакций сердечно-сосудистой системы. К ним относятся: снижение после нескольких часов полета частоты сердечных сокращений относительно предполетных величин; увеличение фазы асинхронного сокращения и разностей между фактическими и должными величинами электромеханической и механической систол по сравнению с предполетными данными.

К настоящему времени феноменологическое значение отдельных показателей фазовой структуры и механизмов их изменения в физиологических и патологических условиях достаточно хорошо изучены (Wiggers, 1921; Blumberger, 1940; Карпман, 1965; Фельдман, 1965; Бриккер, 1965; Федоров, 1968; и др.).

Период напряжения, характеризующий время от момента возникновения сократительного процесса в миокарде до начала изгнания крови, разделяется на фазу асинхронного и изометрического сокращения. Фаза асинхронного сокращения соответствует начальному периоду систолы желудочков, в течение которого совершается последовательный охват сократительным процессом миокарда желудочков. Длительность этой фазы зависит от многих факторов, в первую очередь от величины давления напол-

нения, состояния тонуса сердца, связанного с нервными влияниями, интенсивность обменных процессов в миокарде и т. д. (Blumberger, 1940; Карпман, 1965; Бриккер, 1965; и др.).

Фаза изометрического сокращения соответствует той части систолы желудочков, протекающей при закрытых клапанах, во время которой давление в полостях сердца повышается до уровня конечного систолического давления в магистральных сосудах [1]. Длительность этой фазы определяется, в частности, величиной венозного притока к сердцу. При недогрузке объемом она, как и фаза асинхронного сокращения, а стало быть, и период напряжения, увеличивается (Wiggers, 1921; Карпман, 1965). Холинергические влияния также удлиняют эту фазу, а адренергические — укорачивают ее (Raab et al., 1958). Длительность фазы изометрического сокращения зависит также от сердечного ритма и с его увеличением укорачивается (Holldack, 1951).

В период изгнания сердцем совершается работа по перемещению крови из сердца в сосудистую систему. Длительность периода изгнания определяется главным образом двумя факторами: сердечным ритмом (Blumberger, 1940; Карпман, 1965) и систолическим выбросом (Gobbato, Meda, 1956). С уменьшением систолического выброса период изгнания укорачивается.

Длительность систолы желудочков зависит от экстракардиальных нервных влияний. Еще И. П. Павлов [2] показал, что при раздражении усиливающего нерва систола укорачивается. По данным Хюртле (Hürthle, 1891), раздражение блуждающего нерва удлиняет систолу. Длительность систолы зависит также от сердечного ритма, удлиняясь при уменьшении частоты сердечных сокращений (Карпман, 1965; и др.). Увеличение венозного возврата также удлиняет систолу (Wiggers, 1921). Важная роль в изменении длительности систолы придается состоянию минерального обмена (Hegglin, 1947; Бриккер, 1965).

Интервал между началом второго колебательного цикла СКГ и концом зубца Т, называемый в настоящей работе показателем Хегглина, в норме не превышает 0,02—0,04 сек. Увеличение этого интервала до 0,04 сек. и выше (феномен Хегглина) в сочетании с удлинением электрической систолы при одновременном укорочении электромеханической систолы по сравнению с должными величинами (синдром Хегглина) является, по мнению Хегглина (Hegglin, 1947), признаком энергетически-динамической недостаточности сердца (гиподинамия миокарда). Причиной этого синдрома (первичного ослабления миокарда) может быть нарушение энергетического или минерального обмена. Следует заметить, что феномен Хегглина часто наблюдается у спортсменов в состоянии покоя. Однако в этом случае он не связан с ухудшением состояния миокарда (Иоффе, Куколевская, 1968).

На основании анализа возможных причин фазовых сдвигов представляется возможным высказать предположение, что установление во время орбитальных полетов частоты сердечных сокращений на более низком

[1] Под конечным систолическим давлением понимают сумму величины бокового или собственно систолического давления на стенку сосуда и давления, возникающего за счет воздействия инерционных сил (Савицкий, 1956).

[2] *И. П. Павлов.* 1940. Полное собрание трудов, т. 1. М.— Л.



среднем уровне, чем в предполетном периоде, увеличение периода напряжения и фазы асинхронного сокращения, укорочение периода изгнания указывают, по-видимому, на приспособительный характер реакций сердечно-сосудистой системы, а также на усиление холинергических влияний и повышение центрального тонуса блуждающих нервов. Такая гипотеза согласовывается с данными Рааба (1959, 1963), согласно которым усиление активности симпатоингибиторных механизмов и холинергических влияний приводит к снижению скорости нарастания внутрижелудочного давления и к фазовым сдвигам, аналогичным наблюдавшимся в космических полетах. Подобные фазовые сдвиги имеют место в покое у хорошо тренированных спортсменов и объединяются понятием функциональной гиподинамии миокарда.

Сочетания брадикардии, гипотонии, гиповолемии и удлинения периода напряжения у спортсменов рассматриваются как проявление экономичности в деятельности аппарата кровообращения.

Между соотношением тренировок при занятиях спортом и состоянием покоя, с одной стороны, и существованием организма человека (космонавта) в условиях Земли с присущим ему двигательным режимом и невесомостью, имеющей место в космическом полете, с другой стороны, может быть проведена некоторая аналогия. По-видимому, в обоих случаях, предшествующая мышечная нагрузка при последующем пребывании, в первом случае, в условиях покоя, во втором — в невесомости, создает характерные черты холинергического гомеостаза, которые обеспечивают экономичность сердечной деятельности. По нашему мнению, проведение такой аналогии вполне справедливо, поскольку даже обычный двигательный режим в условиях повседневной жизни на Земле является по отношению к состоянию невесомости своеобразной тренировочной нагрузкой, обеспечивающей выработку значительно бо́льших функциональных возможностей сердца, чем это необходимо в состоянии невесомости.

Подтверждением предположения об относительном усилении тонических влияний вагуса в орбитальном полете являются экспериментально установленные факты об увеличении дыхательной аритмии и с более выраженным, чем на Земле, снижением частоты сердечных сокращений у собаки Ветерок при введении пищи через фистулу. В соответствии с многочисленными экспериментальными данными, обобщенными в монографии Б. М. Федорова (1968), нервные влияния, вызывающие дыхательную аритмию, осуществляются главным образом посредством блуждающих нервов. Рефлекторное или прямое раздражение центров блуждающих нервов усиливает дыхательную аритмию. Высокий тонус центров блуждающих нервов, характерный для хорошо тренированных спортсменов, является основной причиной наблюдающейся у них дыхательной аритмии. В данном случае этот признак указывает на хорошее состояние сердца и его регуляторных механизмов.

По мнению А. И. Смирнова (1967), брадикардия в орбитальном полете не может быть связана исключительно с гемодинамическими факторами. Автор полагает, что в этих условиях у молодых здоровых людей брадикардия является выражением тонуса центра блуждающего нерва.

Анализируя вариационные кривые длительности сердечного цикла космонавтов, Р. М. Баевский и К. И. Жуков (1964), В. В. Парин и соавт. (1967), В. В. Парин (1968) также указывают на перестройку работы

регуляторных механизмов в орбитальном полете с резким преобладанием тонуса парасимпатической системы.

При анализе физиологических реакций, наблюдавшихся у космонавтов А. С. Елисеева и Е. В. Хрунова в период подготовки и совершения перехода, установлено, что имевшие место изменения в виде резкого учащения частоты сердечных сокращений и частоты дыхания, укорочения временны́х показателей ЭКГ и СКГ были адекватны условиям работы в скафандре в открытом космосе, не превышали допустимых физиологических колебаний и не имели существенного различия по сравнению с данными, зарегистрированными во время выхода в открытый космос других космонавтов. Явлений перегревания или других нарушений функций организма космонавтов во время перехода не отмечено.

В отличие от первой группы у членов экипажей второй группы («Союз-3», «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8») не наблюдалось четко выраженного синдрома «разгрузочных» реакций со стороны сердечно-сосудистой системы и относительного преобладания тонуса сердечных центров блуждающего нерва.

Так, частота сердечных сокращений у всех космонавтов, кроме А. С. Елисеева, была выше или не отличалась от предполетных величин. Не наблюдалось также в полете во время бодрствования закономерного изменения длительности внутрижелудочковой проводимости и электрической систолы, увеличения периода асинхронного сокращения, разностей между фактическими и должными величинами электромеханической систолы и уменьшения показателя Хегглина. Все это указывает, что нервно-эмоциональная нагрузка, обусловленная испытательным характером полета (Г. Т. Береговой), выполнением многочисленных динамических операций, а также рядом затруднений при выполнении некоторых элементов программы полета, хотя и не сказывалась существенным образом на общем состоянии и работоспособности космонавтов, тем не менее сопровождалась существенными изменениями показателей сердечно-сосудистой системы у членов экипажей кораблей «Союз-3», «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8», связанными в какой-то мере, по-видимому, с активацией симпатической нервной системы.

Отмеченная у членов экипажа космического корабля «Союз-9» тенденция к увеличению частоты сердечных сокращений в последней трети полета связана, вероятно, с возможным развитием у них явлений утомления. В этом отношении, по-видимому, отрицательную роль мог сыграть «перевернутый» режим дня со сдвигом начала суток, достигшим к окончанию полета 7—8 час.

Таким образом, рассмотренные изменения во время орбитального полета ЭКГ и электромеханических соотношений, а также изменение длительности первого и второго колебательных циклов СКГ указывают на функциональную перестройку аппарата кровообращения, обусловленную как особенностями регуляции в данных условиях, что может быть связано с влиянием невесомости и нервно-эмоционального напряжения, так и изменением гемодинамических соотношений, в частности перераспределением крови, а также, по-видимому, изменениями водно-солевого баланса. Вместе с тем анализ полученной информации о состоянии сердечной деятельности в орбитальном полете позволяет прийти к заключению об отсутствии нарушения сократительной функции миокарда.



Важным результатом, полученным при проведении статистического анализа, является отсутствие статистически значимого различия в направленности изменения частоты сердечных сокращений, частоты дыхания и основных показателей ЭКГ внутри каждой серии исследований на активном участке полета и во время спуска кораблей.

В то же время характер реакций со стороны сердечно-сосудистой системы в состоянии невесомости при прочих равных условиях (например, у членов экипажа одного и того же корабля) был разнонаправленным, что выражалось наличием значимых взаимодействий между фактором длительности полета и индивидуальными особенностями организма.

Одна из наиболее вероятных интерпретаций описанного явления состоит в следующем. На участке выведения и спуска организм подвергается влиянию комплекса экстремальных факторов, включающего в первую очередь большие величины перегрузок, выраженное эмоциональное напряжение, вибрации, шумы и др. Учитывая выраженное влияние на организм перечисленных раздражителей, можно полагать, что во всех случаях со стороны организма в целом и, в частности со стороны сердечно-сосудистой системы, возникают защитно-приспособительные реакции. Направленность изменения физиологических показателей определяется в этих условиях, вероятно, силой воздействующих факторов и не зависит от индивидуальных особенностей организма. В то же время в отличие от направленности выраженность реакций определяется индивидуальными свойствами организма.

Различия же в направленности физиологических реакций в состоянии невесомости указывают, по всей вероятности, на отсутствие необходимости выраженной мобилизации резервных возможностей сердечно-сосудистой системы, что делает возможным индивидуальные проявления характера физиологических реакций.

При проведении статистического исследования было также выявлено, что колеблемость частоты сердечных сокращений в орбитальном полете, как правило, увеличивалась (по сравнению с предполетными данными).

При трактовке данных о колеблемости физиологических показателей необходимо иметь в виду следующее. Регистрация физиологических параметров у космонавтов в полете осуществляется на фоне ведения радиопереговоров с наземными станциями. В то же время на борт выдаются указания по управлению кораблем, корректировка программы полета. Кроме того, при полете в зоне видимости наземные станции выдают ряд команд, за прохождением которых космонавт следит. Иными словами, регистрация физиологических параметров осуществляется в период времени, когда космонавт принимает большой поток информации, имеющей важное сигнальное значение. Такой поток раздражителей может явиться одной из причин увеличения колеблемости физиологических показателей. Вместе с тем тенденция к нарастанию колеблемости показателей может, по-видимому, указывать на изменение состояния регуляторных механизмов сердечной деятельности.

Проведенные исследования и их анализ позволяют заключить, что наблюдавшиеся изменения физиологических реакций со стороны сердечно-сосудистой системы в целом характеризуют достаточную функциональную полноценность аппарата кровообращения в условиях покоя.

В послеполетном периоде изменения основных функций организма у всех космонавтов (с некоторыми индивидуальными вариациями выраженности) проявлялись: развитием явлений астенизации и утомления; субъективным ощущением увеличения веса предметов и собственного тела; ухудшением регуляции вертикальной позы, снижением ортостатической устойчивости, тонуса и силы антигравитационных мышц, прогрессирующими с увеличением продолжительности полета до 18 суток; уменьшением минеральной насыщенности костной ткани; снижением веса тела; нейтрофильным лейкоцитозом, тромбоцитопенией, уменьшением абсолютного количества эозинофилов, увеличением РОЭ, небольшим увеличением содержания мочевины в крови, изменением водно- и солевыделительной функций почек.

В целом наблюдавшийся комплекс изменений со стороны основных физиологических систем в послеполетном периоде свидетельствует о том, что процесс приспособления к обычным условиям земного существования после длительных орбитальных полетов протекает с известными трудностями и сопровождается выраженным напряжением физиологических систем.

Изменения физиологических показателей в орбитальных полетах обусловливаются комплексом факторов. Однако удельный вес различных факторов космического полета в отношении влияния на организм далеко не однозначен.

Колебания параметров микроклимата, как показали результаты статистической обработки методом ковариационного анализа, хотя и оказывали значимое влияние на частоту сердечных сокращений, тем не менее не были определяющими (остаточная дисперсия существенно превышала дисперсию ошибки при $P<0{,}01$). Суммарные дозы облучения, полученные космонавтами за весь полет, не превышали 0,4 рада и, стало быть, практически не могли вызвать ответной реакции организма у членов экипажа корабля «Союз-9» во время 18-суточного полета. По данным исследования содержания 17-оксикортикостероидов в моче, в орбитальных полетах длительностью до 18 суток не наблюдается выраженного стресса.

Рассмотрев роль колебаний параметров микроклимата, радиации, нервно-эмоционального напряжения, можно прийти к заключению, что эти факторы не были определяющими в возникновении ответных реакций организма человека в космическом полете. Очевидно, к наиболее важным причинам, вызывавшим во время полета корабля «Союз-9» изменения физиологических функций, относятся невесомость, гипокинезия и напряженная деятельность членов экипажа.

Комплекс медицинских исследований, выполненных по программе «Союз», значительно расширил наше представление о действии на организм человека невесомости, позволил обосновать возможность полета человека длительностью до одного месяца без создания искусственной гравитации на борту корабля и подойти к разработке принципов медико-биологического обеспечения более длительных космических полетов.

Анализ и сопоставление результатов физиологических исследований, выполненных во время и после космических полетов, позволяют прийти к заключению, что наблюдавшиеся изменения физиологических реакций носили преходящий, функциональный характер. Колебания физиологических показателей во время полета находились в допустимых пределах.



Работоспособность членов экипажей в космических полетах длительностью до 18 суток сохранялась на достаточно высоком уровне. Вместе с тем послеполетные исследования состояния членов экипажей показали, что применительно к длительным космическим полетам необходима разработка профилактических средств, обеспечивающих снижение выраженности реакций в период приспособления к условиям земного существования.

## ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ КОСМОНАВТА

*Система прогнозирования* предусматривает три стадии составления прогноза: стадию ретроспекции, стадию диагноза и стадию прогноза. На первой стадии формируется определенный массив исходной информации, включающий как общие представления об объекте прогноза, так и конкретные данные о нем. В нашем случае объектом прогноза является состояние космонавта в условиях космического полета и на стадии ретроспекции необходимо провести содержательный анализ основных сведений о влиянии экстремальных факторов на организм человека, об условиях предстоящего космического полета и медико-физиологической информации, передаваемой с борта корабля, о результатах клинико-функционального обследования перед полетом. Все эти данные уточняются на стадии диагноза в период медицинских исследований на космодроме и на основании анализа телеметрических записей, данных радиопереговоров и телерепортажей в первые дни полета. Стадия прогноза начинается с момента, когда накоплен достаточный объем информации. Схема 4 дает представление о стадиях прогнозирования и источниках информации, используемых на каждой из стадий. Организационно прогнозирование осуществляется специальной группой, включающей физиологов, клиницистов, математиков. На данном этапе развития космической медицины речь может идти лишь о создании экспериментальных систем прогнозирования с целью их апробации в реальных полетах. Подобные системы были уже использованы во время полетов корабля «Союз-9» и орбитальной станции «Салют». Полученные экспериментальные материалы представлены ниже.

### Состояние здоровья как объект прогноза

Детальное изучение здоровых людей и их состояний, пограничных с болезнью, связано с развитием учения об адаптации. Адаптация как процесс приспособления к окружающей среде, как выработка оптимальной стратегии функционирования живой системы, обеспечивающей ее гомеостаз (Казначеев, 1973), в настоящее время понимается в качестве одного из универсальных свойств биологических объектов. Ставшие теперь общепризнанными, представления об общем адаптационном синдроме как неспецифической реакции организма на любое воздействие были впервые опубликованы Селье еще в 1936 г. и с тех пор получили широкое распространение во всем мире.

Согласно Селье, первичными являются неспецифические защитные реакции организма, возникающие в ответ на любое повреждающее воздействие. Специфические изменения могут выявляться на всех стадиях, но преобладающими они становятся на стадии истощения защитных сил, при

Радиопереговоры
Телевидение
Выполнение программы
Медицинский опрос
Радиационная обстановка и гигиенические параметры
Суточная периодика функций
Изменения ЧП и ЧД
Статистические характеристики сердечного ритма
Динамика СКГ

Клинические обследования
Стенды
Макет
Летный эксперимент
Функциональные пробы
Индивидуальные физиологические нормативы

Клинико-физиологическая экспертиза
Стартовые данные
Данные 1—3 дня эксперимента

Стадия ретроспекции
Стадия диагноза
Стадия прогноза

Группа прогноза

Схема 4. Стадии прогнозирования и источники информации



нарушении равновесия между организмом и средой. При этом формируются симптомы и синдромы заболеваний, соответствующие определенным нозологическим формам патологии. Все состояния, которые предшествуют появлению заболеваний (нозологических форм), могут быть названы донозологическими. Таким образом, выделяются три больших класса состояний: состояние физиологической нормы, донозологические состояния, нозологические состояния. Донозологические состояния можно классифицировать следующим образом: пограничные состояния (состояния адаптации), состояние напряжения, состояние перенапряжения, состояние предболезни [стадия неспецифических изменений (общая астенизация) и стадия специфических изменений (доклинические формы болезни)].

В процессе адаптации к неблагоприятным воздействиям внешней среды, в частности при действии комплекса факторов космического полета, организм последовательно переходит из одного состояния в другое. Находясь в зоне, пограничной между нормой и напряжением, организм либо полностью адаптируется к условиям, которые до этого были для него неадекватными, либо со временем возникает скрытая дезадаптация. Под влиянием продолжающихся экстремальных воздействий могут развиться различные донозологические состояния, включая астенизацию и специфические доклинические формы заболеваний.

Переход состояния перенапряжения в состояние предболезни или развитие заболевания по существу являются срывом адаптации и связаны либо с недостаточностью компенсаторных механизмов, либо с их истощением. Специальные испытания с длительной гипокинезией, длительной изоляцией и другими воздействиями, в которых мы изучали временну́ю организацию функций, подтвердил возможность прогнозирования срывов адаптации и появления астенических состояний. Такой прогноз исходил из анализа суточной периодики некоторых физиологических функций, статистических характеристик сердечного ритма и динамики временны́х отношений между параметрами. Была установлена важность оценки исходных качеств регуляторных механизмов, в частности степени их инертности или пластичности (подвижности, лабильности). Переход из одного состояния в другое затрагивает последовательно все уровни организации живой системы. Прежде всего изменяется временна́я координация функций, затем возникают изменения на уровне обмена информацией и энергией, наконец, в последнюю очередь, происходит перестройка обмена веществ и возникают структурные изменения (Парин, 1969). Соответственно развитие патологических состояний и заболеваний должно проходить через следующие четыре стадии: временно́е рассогласование функций, нарушение информационных потоков, нарушение обмена энергии и вещества, структурные нарушения.

Представленная выше схема развития патологических состояний и заболеваний, с одной стороны, включает классификацию последовательных фаз перехода от нормы к патологии, с другой — учитывает различную «глубину» изменений временно́й координации функций, обмена информации, энергии и вещества, в зависимости от степени отклонения от нормы. Это дает возможность использовать для наглядного представления и оценки реакций организма на различные воздействия метод фазовой плоскости. При этом изучаемые факторы или показатели изображаются по двум взаимно перпендикулярным осям и каждая точка на плоскости ха-

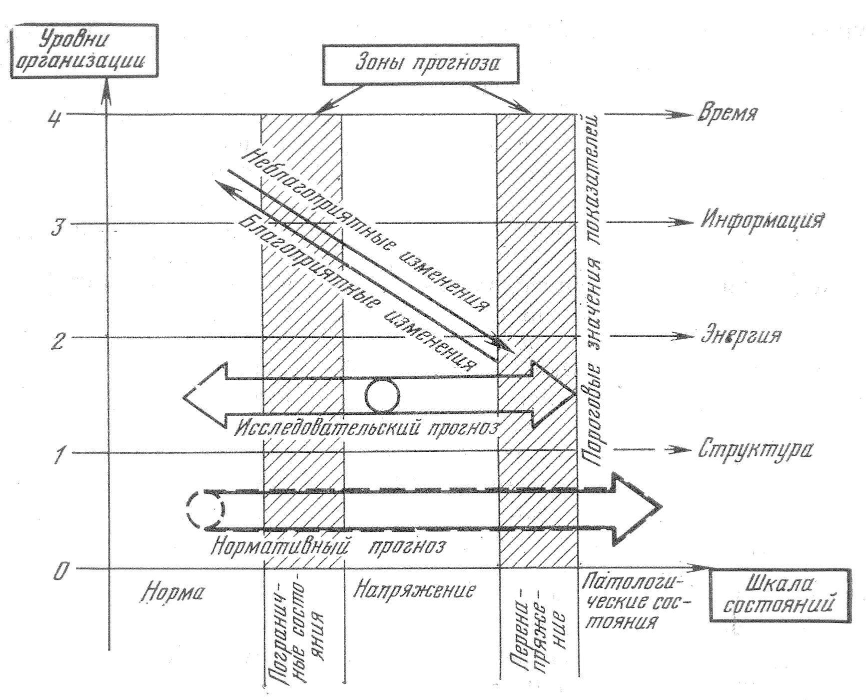



Схема 5. Уровни организации живой системы и состояния организма

рактеризуется соответствующими координатами, выраженными через изучаемые показатели. Если по оси ординат расположить уровни организации живой системы (время, информация, энергия, структура), а ось абсцисс представить в виде шкалы состояний (норма, пограничные состояния, напряжение, перенапряжение, патологические состояния), то получится фазовая плоскость, изображенная на схеме 5. Состояние организма — это точка на плоскости, а изменение состояния отображается соответствующей фазовой траекторией. Таким образом, мы получаем возможность судить о характере изменений в состоянии здоровья по направлению отдельных участков фазовой траектории, которую можно представить состоящей из отдельных участков-векторов. Вектор состояния — это понятие, позволяющее сделать более предметной прогностическую оценку здоровья. Векторы состояний могут быть положительными, когда они указывают направление благоприятных изменений, или отрицательными, когда они указывают направление неблагоприятных изменений.

Состояние здоровья как объект прогноза может интерпретироваться по вышеизложенным представлениям как динамический ряд последовательных векторов, соответствующим образом ориентированных в пространстве состояний и уровней организации живой системы. Прогнозирование неблагоприятных изменений может осуществляться в двух зонах: в зоне пограничных состояний, где происходят адаптационно-приспособительные реакции уравновешивания организма со средой и в полной мере проявляются индивидуальные особенности регуляторных систем, и в зоне перенапряжений, где возможно оценить цену адаптации организма к не-



адекватным условиям и выявить начальные явления перенапряжения и истощения адаптационно-приспособительных механизмов, которые ведут в дальнейшем к появлению специфических патологических отклонений и заболеваний.

Заболевания космонавтов в длительном полете могут быть вызваны: условиями обитания (гигиеническая среда, питание, быт, психологические факторы), действием факторов межпланетного пространства (космическая радиация, электромагнитные поля, невесомость), эндогенными влияниями (аутоинфекция, нарушение нервной и эндокринной регуляции). Одновременное действие нескольких факторов, по-видимому, может вызвать появление сложных, тяжело протекающих и не известных на Земле форм болезней. Из сказанного следует, что распознавание болезней в космическом полете представляет весьма сложную задачу со многими неизвестными. Однако решение ее нужно начинать уже сейчас, и некоторые пути для этого могут быть намечены.

Прежде всего следует выяснить, какие состояния и болезни будут чаще всего встречаться в длительном полете. Для решения этого вопроса целесообразно воспользоваться опытом морской подводной и полярной медицины, располагающей довольно значительной статистикой заболеваемости изолированных коллективов в различных, иногда довольно тяжелых условиях; много полезных сведений может быть получено при анализе материалов многолетних диспансерных исследований больших контингентов здоровых людей; возможна постановка специальных многолетних наблюдений на отобранных группах людей, в частности на кандидатах в космонавты; полезной является экспертная оценка вероятных в полете состояний и заболеваний.

При исследовании заболеваемости во время длительных полетов должно широко использоваться понятие переменной вероятности заболеваний. Дело в том, что при определенных условиях вероятность одних заболеваний увеличивается, а других — уменьшается. Так, при нарушении питания возрастает вероятность появления алиментарной дистрофии, авитаминозов и т. п., при действии космической радиации повышается вероятность заболевания лучевой болезнью. Если учитывать при этом еще и многообразные формы болезней, которые будут зависеть от сопутствующих нарушений условий обитания или появления внешних неблагоприятных воздействий, то становится ясным, что потребуется сложный математический анализ с применением современных средств вычислительной техники.

Теоретической основой прогнозирования состояния организма в условиях космического полета является представление о наличии принципиально общих механизмов развития патологии на Земле и в космосе. В связи с этим используют как нормативный, так и исследовательский подходы к прогнозу. Выше мы уже рассмотрели особенности исследовательского подхода. Нормативный подход направлен на поиск ранних и скрытых признаков достаточно известных отклонений, таких как умственное утомление, укачивание, сердечная недостаточность, физическая детренированность, различные острые или хронические заболевания. Поскольку мы пока не предполагаем существования значительных различий в развитии и течении патологических отклонений и заболеваний в космосе и на Земле, работы в этом направлении могут проводиться при участии широ-

кого круга специалистов из разных областей. Перечень подобных состояний и заболеваний может быть установлен в настоящее время лишь на основе интуитивных и логических соображений и будет уточняться по мере накопления в космической медицине опыта и экспериментальных данных. В первичный «список» можно включить следующие состояния и заболевания:

1. Гемодинамические нарушения, возникающие в результате перераспределения объемов циркулирующей крови.
2. Физическая детренированность, включая мышечные атрофии.
3. Снижение умственной работоспособности, в том числе ухудшение сенсомоторных и координаторных актов.
4. Эмоциональный стресс и психотические расстройства.
5. Нарушения вестибулярной устойчивости.
6. Общая астенизация организма, в том числе нарушения обмена веществ и энергии.
7. Нарушения водно-солевого и минерального баланса.
8. Нарушения гемопоэза.
9. Острые пароксизмальные состояния.
10. Различные заболевания (инфекционные, аллергические, простудные и др.).

Предположение о наличии общих закономерностей в течении «земных» и «космических» состояний и заболеваний делает возможным изучение на клинических моделях тех нарушений, которые могут возникнуть в космическом полете. Такой подход к проблемам космической диагностики открывает путь к моделированию эффективных диагностических алгоритмов и их проверке на Земле. Это позволит значительно повысить диагностическую эффективность будущих автоматических систем на межпланетных кораблях.

### Опыт экспериментального прогнозирования состояния космонавтов во время полетов на орбитальных комплексах «Союз — Салют»

Первые исследования по экспериментальному прогнозированию были осуществлены во время полета космического корабля «Союз-9». Непосредственно в ходе полета были применены методы эвристического и математического прогнозирования частоты пульса. Затем ретроспективно исследовалась эффективность метода фазовой плоскости и статистического анализа сердечного ритма. Полученный опыт был положен в основу программы экспериментального прогнозирования состояния экипажа орбитального комплекса «Союз-11 — Салют». Кроме того, в этом полете впервые был применен спектральный анализ сейсмокардиограмм. Во время полета орбитальной станции «Салют-4» для текущего прогнозирования состояния экипажей применялись методы эвристического прогнозирования и ряд функциональных проб (дозированная физическая нагрузка, ОДНТ). Ретроспективно была изучена эффективность корреляционного анализа временно́й синхронизации некоторых физиологических показателей и статистического анализа распределений динамического ряда амплитуд I цикла СКГ.

Ниже представлены результаты указанных экспериментальных исследований, систематизированные в соответствии с рассмотренными выше принципами прогнозирования и классами прогностических методов.



*Исследовательское прогнозирование*

Исследовательский принцип прогнозирования состояний в первых длительных полетах был представлен эвристическим и математическим прогнозом частоты пульса. Задача состояла в том, чтобы предсказать ожидаемую частоту пульса (или других физиологических показателей) с упреждением на 3—5 дней. Во время полета орбитальной станции «Салют» была создана *группа экспертов* из 12 человек, которая начиная с десятого дня полета собиралась через каждые три дня. На заседаниях эксперты знакомились со всей получаемой по радиотелеметрическим каналам физиологической информацией и «предсказывали» вероятные значения частоты пульса, частоты дыхания, длительности систолы и других показателей на три дня вперед. Точность такого прогнозирования оказалась довольно высокой. При сопоставлении среднегрупповых «предсказанных» значений частоты пульса и истинных значений расхождения были максимум на 4—6 ударов. При статистическом сравнении «предсказанных» и истинных значений разница между ними недостоверна. Кроме того, эксперты заполняли специальную анкету с вопросами о вероятном ухудшении (или улучшении) состояния в ближайшие 3—5 дней и о переносимости спуска. Таким образом, экспертный прогноз был направлен из настоящего в будущее безотносительно к конкретным исходам.

*Математическое прогнозирование* динамики частоты пульса (и некоторых других показателей) проводилось методами аналитического дифференцирования и при помощи фильтра Колмогорова — Габора. Относительная среднеквадратическая ошибка прогноза была в пределах 4,0—10,2% для программы аналитического дифференцирования, 4,6—10,7% при подсчетах с помощью фильтра Колмогорова — Габора по полной линейной модели и 2,7—9,3% при подсчетах по одномерной нелинейной модели. Ошибка прогноза, полученного методом экспертных оценок, была в пределах 6,1—9,8%. Таким образом, прогноз ожидаемой динамики физиологических показателей в длительном космическом полете с достаточной точностью может быть обеспечен применением как математических, так и эвристических методов. Однако прогнозы такого рода, определяя тенденцию вероятных в будущем изменении отдельных показателей, не позволяют судить об ожидаемых конкретных состояниях организма.

Более четкие результаты, с нашей точки зрения, дает *метод фазовой плоскости* при рассмотрении динамики двух показателей, характеризующих определенную функциональную систему организма. На рис. 34 представлены фазовые плоскости для системы показателей «длительность сердечного цикла — длительность механической систолы». Анализировалась динамика этих показателей у экипажа орбитальной станции «Салют». По данным предполетных обследований для каждого из космонавтов были построены траектории суточных изменений указанных показателей. Центром зоны нормы являлись среднесуточные значения, полученные на Земле (3). Пунктиром ограничена зона нормальных колебаний. Заштрихованная зона ограничивает траекторию системы «длительность сердечного цикла — длительность механической систолы» во время полета. В пределах каждой зоны даны результирующие векторы для 1—10 дня полета (*1*) и для 11—20 дня полета (*2*). Как следует из представленных дан-

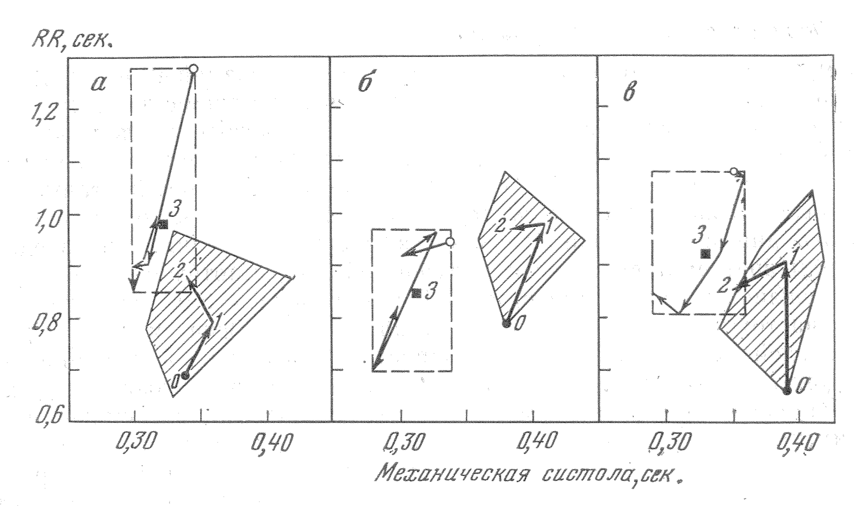



**Рис. 34. Фазовые траектории системы показателей «длительность сердечного цикла — длительность механической систолы» у экипажа орбитальной станции «Салют»**

*а* — Г. Т. Добровольский; *б* — В. Н. Волков; *в* — В. И. Пацаев
Остальные обозначения в тексте

ных, у всех членов экипажа фазовые траектории находились в большей части вне зоны нормы. К 20 дню полета рассматриваемая система физиологических показателей вошла в зону нормы у Г. Добровольского и В. Пацаева. У В. Волкова наблюдалась положительная направленность результирующего вектора.

Анализ фазовых траекторий позволяет оценить индивидуальные особенности реакций сердечно-сосудистой системы на воздействие невесомости. Как следует из данных рис. 34, в начале полета реакция каждого из космонавтов имела определенные особенности. Так, у Г. Добровольского изменение рассматриваемой системы показателей произошло в основном за счет длительности сердечного цикла, у В. Волкова — за счет длительности механической систолы, у В. Пацаева — за счет одновременного изменения обоих показателей. Заметим, что в обычных условиях в процессе адаптации организма к суточным изменениям режима труда и отдыха регуляция сердца осуществляется путем одновременного изменения и длительности сердечного цикла и механической систолы. Переход от покоя к активности сопровождается некоторым учащением пульса (укорочением длительности сердечного цикла) и соответствующим укорочением механической систолы, так что систолический показатель (отношение длительности систолы к длительности сердечного цикла) изменяется мало. Под действием факторов полета наблюдается другая реакция. Учащение пульса (у Г. Добровольского и В. Пацаева) не сопровождается соответствующим укорочением систолы, а у В. Пацаева она удлиняется. У В. Волкова пульс не учащается, удлинение механической систолы является основным компонентом реакции.

Можно полагать, что перераспределение крови в условиях невесомости с увеличением кровонаполнения сосудистого русла легких ведет к по-



вышению давления в легочной артерии, что и является причиной удлинения систолы. Поскольку венозный приток уменьшен, то ведущее значение приобретает гомеометрический механизм компенсации и от его совершенства, по-видимому, и зависит индивидуальный тип реакции. Удлинение систолы свидетельствует о том, что этот механизм в данных условиях недостаточно активен, что сердце неспособно увеличить силу сокращений за счет перестройки метаболизма, без изменения исходной длины мышечных волокон. Компенсаторное учащение пульса в данной ситуации является реакцией центральных механизмов, своего рода неспецифической реакцией организма. Общая схема адаптации сердца к условиям невесомости, исходя из анализа представленных на рис. 34 фазовых траекторий, заключается в постепенном снижении активности центральных механизмов и включении автономного гомеометрического механизма.

Метод фазовой плоскости позволяет рассматривать направленность изменений выбранной функциональной системы и относится к числу клинико-физиологических методов, использующих исследовательский принцип. Однако фазовые представления состояния организма и его систем открывают хорошие возможности для дальнейшей математизации процедуры прогноза.

Следует различать два аспекта в применении математических методов для решения задач медицинского прогнозирования. Во-первых, это получение прогнозных оценок состояния организма в результате определенных математических операций над конкретными клинико-физиологическими показателями. Во-вторых, это использование математических методов для обработки первичной медицинской информации с целью получения диагностически и прогностически более ценных клинико-физиологических показателей. Во втором случае речь идет об извлечении дополнительной информации из имеющихся данных. Примером такого применения математических методов является *математический анализ сердечного ритма.*

В настоящее время уже накоплен некоторый опыт применения статистических методов, автокорреляционного и спектрального анализа динамических рядов кардиоинтервалов в космической медицине (Парин, Баевский, 1968; Газенко и др., 1969; Баевский, 1972; Воскресенский, Вентцель, 1974). Наиболее простым и пригодным для оперативного применения в ходе полета является метод построения гистограмм. Предложенная нами двухконтурная модель регуляции сердечного ритма позволяет интерпретировать вариабельность кардиоинтервалов в связи с состоянием автономного контура «синусовый узел—ядра блуждающего нерва—дыхание». Централизация управления вызывает усиление тонуса симпатической системы, что ведет к уменьшению вариабельности кардиоинтервалов и увеличению амплитуды моды (АМо) — числа наиболее часто встречающихся в исследуемом динамическом ряду интервалов. Для оценки степени активности симпато-адреналовой системы по ритму сердца нами используется индекс напряжения: Ин=АМо(%)/2ΔХМо, где ΔХ — вариационный размах в сек., Мо — мода в сек. (Баевский, 1974). На рис. 35 представлены образцы гистограмм кардиоинтервалов при разных состояниях организма и соответствующие этим гистограммам индексы напряжения. Статистические характеристики сердечного ритма хорошо отражают изменения вегетативного гомеостаза в течение суток и являются чутким инди-

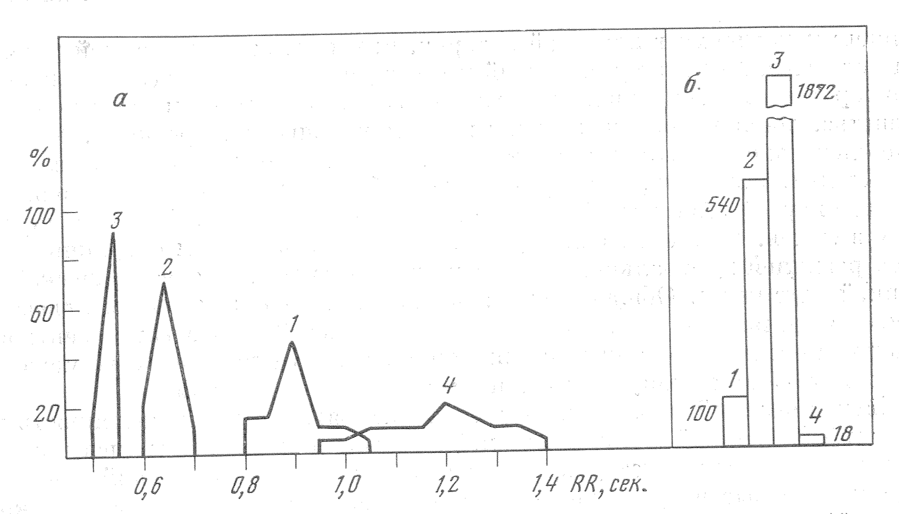



**Рис. 35. Вариационные пульсограммы (*а*) и индексы напряжения (*б*) в состояниях нормы (*1*), напряжения (*2*), перенапряжения (*3*) и во время сна (*4*)**

По оси ординат — количество *RR*-интервалов данной длительности в % к их общему количеству в массиве

катором напряжения и перенапряжения регуляторных систем при перестройке режима труда и отдыха, при длительной гипокинезии.

В табл. 22 представлены среднесуточные значения статистических характеристик сердечного ритма у членов экипажей орбитальной станции «Салют-4» в предполетном периоде. Как видно из этих данных, регуляция ритма сердца у Г. М. Гречко и В. И. Севастьянова характеризуется более высокой активностью симпато-адреналовой системы. По-видимому, такой тип регуляции связан с хорошим функциональным резервом оперативных механизмов и не требует значительной активации системы «гипофиз — надпочечники», которая относится к механизмам «стратегического» управления. Об этом свидетельствуют более высокие значения концентрации натрия в слюне у космонавтов Г. М. Гречко и В. И. Севастьянова. При экстремальных воздействиях (изоляция, гипокинезия, сдвиг времени), где значительную роль в механизме приспособления играют реакции системы «гипофиз — надпочечники», наблюдается снижение содержания

Таблица 22. **Среднесуточные значения статистических характеристик сердечного ритма и содержания натрия в слюне у членов экипажей орбитальной станции «Салют-4» в предполетном периоде**

| Космонавт | ΔX, сек. | AMo, % | Индекс напряжения | Натрий, мг% |
|---|---|---|---|---|
| **А. А. Губарев** | 0,18 | 43 | 129 | 19,0 |
| **Г. М. Гречко** | 0,18 | 56 | 204 | 21,0 |
| **П. И. Климук** | 0,16 | 44 | 175 | 16,1 |
| **В. И. Севастьянов** | 0,16 | 50 | 284 | 27,7 |



Таблица 23. **Статистические характеристики сердечного ритма у членов экипажей орбитальной станции «Салют-4» на разных этапах полета**

| Сутки полета | А. А. Губарев | | Г. М. Гречко | | П. И. Климук | | В. И. Севастьянов | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ΔX | AMo | ΔX | AMo | ΔX | AMo | ΔX | AMo |
| **1—4** | 0,21 | 43 | 0,16 | 47 | 0,23 | 44 | 0,18 | 41 |
| **10—12** | 0,21 | 40 | 0,22 | 40 | — | — | — | — |
| **15—16** | — | — | — | — | 0,15 | 35 | 0,18 | 38 |
| **18—20** | 0,19 | 39 | 0,18 | 44 | — | — | — | — |
| **22—23** | — | — | — | — | 0,23 | 24 | 0,15 | 46 |
| **35—41** | — | — | — | — | 0,15 | 54 | 0,10 | 60 |

натрия в слюне, поскольку увеличенный выброс минералокортикоидов ведет к усилению реабсорбции натрия в канальцах слюнных желез. Возможно, именно различным уровнем функционирования «стратегических» механизмов и объясняются различия в изменениях вариационного размаха (ΔX) и амплитуды моды (AMo) у членов экипажей орбитальной станции «Салют-4» на разных этапах полета (табл. 23). В течение первых 20 дней пребывания в невесомости у Г. М. Гречко и В. И. Севастьянова показатель AMo был по сравнению с индивидуальным среднесуточным значением существенно ниже, чем у А. А. Губарева и П. И. Климука (на 20—30% и на 10—20% соответственно).

Более длительное пребывание на орбите второй экспедиции позволило наблюдать увеличение активности симпато-адреналовой системы с превышением значений AMo над среднесуточными наземными данными. По-видимому, увеличение централизации управления ритмом сердца следует считать прогностически благоприятным, что следует из сравнения индексов напряжения у В. И. Севастьянова в конце первого (на корабле «Союз-9») и второго (на орбитальной станции «Салют-4») полетов (табл. 24). Низкие индексы напряжения у совершавших кратковременные полеты космонавтов В. Ф. Быковского и В. В. Терешковой коррелируют со сравнительно более низкой переносимостью условий невесомости. Таким образом, анализ статистических характеристик сердечного ритма позволяет оценить степень напряжения регуляторных механизмов во время полета и наблюдать за тенденцией к нормализации или к перенапряжению, что является важной задачей исследовательского прогнозирования состояния человека.

Как известно, неспецифическая реакция напряжения, возникающая при воздействии экстремальных факторов, связана не только с активацией системы «гипофиз — надпочечники», но и с мобилизацией всех систем, участвующих в адаптации к действующему фактору. Степень мобилизации может быть оценена при помощи корреляционного анализа, чем она больше, тем выше коэффициенты взаимной корреляции между составляющими функциональную систему показателями.

В табл. 25 представлены результаты корреляционного анализа показателей, характеризующих состояние систем регуляции ритма и силы сердечных сокращений. О применении гистографического анализа кардиоин-

**Таблица 24. Индексы напряжения у экипажей космических кораблей на разных этапах полета**

| Космонавт | Среднесуточное значение перед полетом | Сутки полета | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1—5 | 10—15 | 15—16 | 18—20 | 22—23 | 35—41 | 55—60 |
| **В. Ф. Быковский** | 62 | 17—50 | — | — | — | — | — | — |
| **В. В. Терешкова** | 75 | 22—40 | — | — | — | — | — | — |
| **А. Г. Николаев** («Союз-9») | — | 250 | 200 | 213 | 469 | — | — | — |
| **В. И. Севастьянов** (Союз-9») | 211 | 200 | 160 | 178 | 215 | — | — | — |
| **Г. Т. Добровольский** | 70 | 115 | — | 123 | 100 | 100 | — | — |
| **В. Н. Волков** | 90 | 40 | — | 44 | 70 | 70 | — | — |
| **В. И. Пацаев** | 110 | 40 | — | 44 | — | — | — | — |
| **А. А. Губарев** | 129 | 121 | 113 | — | 119 | — | — | — |
| **Г. М. Гречко** | 204 | 194 | 119 | — | 277 | — | — | — |
| **П. И. Климук** | 175 | 52—480 | — | 150 | — | 66 | 216 | — |
| **В. И. Севастьянов** («Салют-4») | 284 | 52—290 | — | 82—264 | — | 190 | 210—920 | 400 |

Таблица 25. **Результаты корреляционного анализа показателей гистограммы кардиоинтервалов и амплитуд I цикла СКГ у экипажа орбитальной станции «Салют-4»**

| Дни полета | Показатели | Кардиоинтервалы | | Амплитуды I цикла СКГ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | А. А. Губарев | Г. М. Гречко | А. А. Губарев | Г. М. Гречко |
| 1 | Мо — АМо<br>Мо — ΔX | 0,03<br>—0,22 | 0,75 *<br>0,39 | 0,52<br>—0,29 | 0,51<br>—0,30 |
| 2 | Мо — АМо<br>Мо — ΔX | —0,35<br>0,57 | 0,07<br>0,17 | —0,59<br>0,12 | 0,88 *<br>0,07 |
| 10—12 | Мо — АМо<br>Мо — ΔX | —0,55 *<br>—0,12 | 0,50 *<br>—0,59 * | 0,07<br>0,02 | 0,94 *<br>—0,77 * |
| 18—20 | Мо — АМо<br>Мо — ΔX | 0,25<br>—0,43 | —0,70 *<br>0,60 * | 0,42<br>0,33 | 1,0 *<br>—0,81 * |

* Достоверные коэффициенты корреляции при 95%-ном уровне значимости.

тервалов для оценки системы управления сердечным ритмом мы писали выше. Аналогичные показатели были использованы для оценки системы управления силой сердечных сокращений по динамическому ряду амплитуд I цикла СКГ.

Как следует из представленных данных, адаптация к условиям невесомости у А. А. Губарева и Г. М. Гречко проходила неодинаково. У А. А. Губарева в первые дни полета нет ни одного статистически значимого коэффициента корреляции. В середине полета появляется значимая отрицательная корреляция между Мо и АМо сердечного ритма, которая к 18—20 дню полета исчезает. У Г. М. Гречко в первый день полета и на 10—12 день корреляция между АМо и Мо сердечного ритма



достоверная, но положительная, т. е. связь неадекватная. Также неадекватна на 10—12 день корреляционная связь между Мо и ΔX. На 18—20 день обе эти корреляционные связи значимы и адекватны. У Г. М. Гречко, начиная с 10 дня полета, наблюдается четкая мобилизация механизмов, регулирующих силу сердечных сокращений. Корреляционные связи Мо — АМо и Мо — ΔX статистически значимы и адекватны. Уже со второго дня полета у Г. М. Гречко отмечается активация центральных механизмов инотропной регуляции: АМо изменяется адекватно изменению Мо.

Таким образом, у А. А. Губарева наблюдался менее благоприятный тип адаптации сердца к экстремальным условиям. Как известно, реакция его сердечно-сосудистой системы в периоде реадаптации была менее благоприятной, чем у Г. М. Гречко. Следовательно, корреляционный анализ поведения функциональных систем, обеспечивающих регуляцию ритма и силы сердечных сокращений в условиях полета, имеет прогностический смысл. В данном случае мы осуществляем исследовательский прогноз состояния защитно-приспособительных механизмов.

### *Нормативное прогнозирование*

Нормативный принцип прогнозирования состояния человека в длительном космическом полете направлен на определение вероятности конкретных отклонений. В предыдущем разделе мы уже рассмотрели перечень наиболее вероятных патологических состояний и заболеваний. Использование метода экспертных оценок позволило определить априорные вероятности отдельных состояний (Баевский и др., 1976) и разработать систему *эвристического прогнозирования*, основанную на нормативном подходе.

Основная трудность эвристической оценки различных состояний, возникающих в космическом полете, заключается в отсутствии адекватной и общепринятой шкалы для их описания. Переход от одного состояния к другому в процессе адаптации организма к невесомости в настоящее время еще не может быть достаточно точно и подробно описан, подобно тому, как это имеет место в клинике при диагностике различных заболеваний. Во время первой экспедиции на орбитальной станции «Салют-4» была сделана попытка оценивать каждое из вероятных патологических состояний по степени выраженности (по тяжести): легкая, средняя, сильная степень. При этом каждая степень выраженности рассматривалась как независимая «нозологическая» единица. Такой подход дал положительные результаты, однако показал необходимость введения дифференцированных шкал с четкими описаниями для каждого из состояний. Подобные шкалы были разработаны при участии специалистов-экспертов и затем подверглись коррекции при общем обсуждении всеми участниками экспертной группы. Результатом этой работы явились 10-балльные шкалы, в которых единицей обозначались исходные состояния (отсутствие признаков прогнозируемого патологического состояния), а баллом 10 — максимальная выраженность данного состояния. Таким образом, объектом прогнозирования явилось состояние здоровья космонавтов, выраженное в виде условных оценок-баллов по каждому из наиболее вероятных в длительном полете патологических состояний.

Описанная система нормативного эвристического прогнозирования была апробирована во время полета второй экспедиции на орбитальной станции «Салют-4». Группа экспертов состояла из 23 высококвалифицированных специалистов с большим опытом и стажем работы в области космической медицины. Основным рабочим документом была карта экспертных оценок, в которой были представлены следующие восемь вероятных в длительном космическом полете патологических состояний: физическая детренированность; общая астенизация; нарушение сократительной функции сердца; нарушения сердечного ритма; снижение умственной работоспособности; нарушения психо-эмоционального статуса; вестибулярные нарушения; нарушения водно-солевого баланса. Указанные состояния оценивались по 10-балльной шкале. Кроме того, в карте были представлены и наиболее вероятные заболевания (ОРЗ, инфекционные, аллергические, заболевания кожи и слизистых, острые пароксизмальные состояния). Оценка вероятности заболеваний осуществлялась путем двоичного выбора («+» или «—»).

Во время полета П. И. Климука и В. И. Севастьянова было проведено четыре заседания группы экспертов (на 10-й, 30-й, 40-й и 50-й дни полета). Программы всех заседаний были стандартными. Они включали следующие этапы: 1) ознакомление экспертов с информацией, полученной в ходе полета; 2) обсуждение текущего состояния каждого из членов экипажа и его оценка в баллах с использованием соответствующих шкал (оценка проводилась коллективно путем голосования); 3) представление экспертам информации о предполагаемом (прогнозировавшемся ими) состоянии экипажа и его сопоставление с текущей оценкой; 4) работа с картами экспертных оценок — прогнозирование состояния экипажа на 30-й, 40-й, 50-й и 60-й дни полета и на 1-й и 7-й дни периода реадаптации. Перед началом каждого заседания эксперты имели возможность ознакомиться с исходными данными, результатами клинико-функциональных обследований экипажа, материалами предыдущих космических полетов и всей информацией, полученной в ходе данного полета. Таким образом, была реализована общепринятая стандартная процедура производства прогнозов, включающая три стадии: стадию ретроспективного анализа объекта прогноза; стадию диагноза (оценка текущего состояния); стадию прогнозирования.

Весьма существенным явилось введение в систему прогнозирования обратной связи, т. е. представление экспертам на каждом заседании информации об ошибке прогноза.

После каждого заседания экспертной группы проводился анализ карт экспертной оценки. Вычислялись средние значения и среднеквадратичные отклонения по каждому из прогнозируемых состояний. Была сделана попытка учета компетентности экспертов, для чего вычислялись также и «средневзвешенные» оценки, однако разница между оценками с учетом и без учета «веса» экспертов была в пределах одного балла.

В качестве примера на рис. 36 представлены в графической форме результаты прогноза физической тренированности у П. И. Климука. Как следует из этих данных, от заседания к заседанию прогнозы были все более оптимистичными. Точность прогнозов повышается к концу полета. По отдельным состояниям (физическая детренированность, нарушения сердечного ритма, нарушения психоэмоционального статуса) у



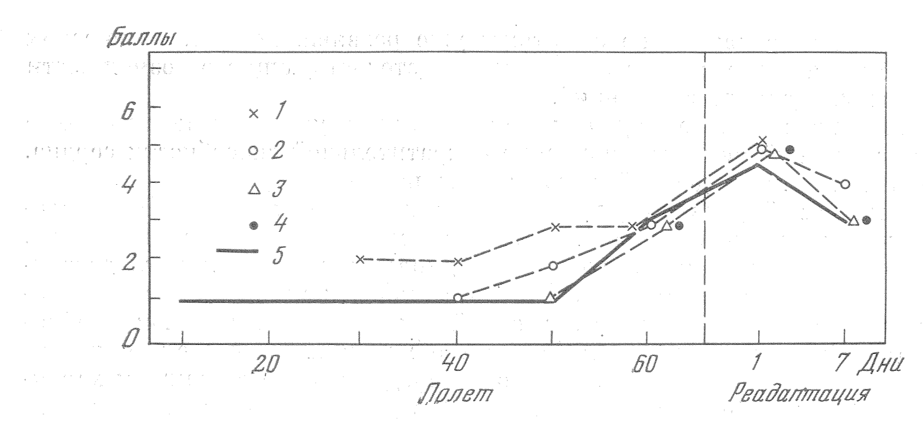



**Рис. 36. Экспертное прогнозирование состояния физической тренированности у космонавта П. И. Климука во время полета на орбитальной станции «Салют-4»**

Прогнозы: *1* — 10-й день полета; *2* — 30-й день полета; *3* — 40-й день полета; *4* — 50-й день полета; *5* — оценка текущего состояния

В. И. Севастьянова ожидались несколько более выраженные отклонения, чем у П. И. Климука. По всем прогнозируемым состояниям расхождение между экспертными оценками текущего состояния и прогнозами не превышало 1—1,5 балла.

В принятой нами шкале оценок подобные расхождения находятся в пределах точности шкалы. Оценка точности прогнозов имеет не только теоретическое, но и практическое значение. Поскольку прогноз связан с принятием решений, то можно условно выделить три градации выраженности каждого состояния: слабую, среднюю и сильную. Имеется в виду, что при слабой выраженности ожидаемого состояния никаких специальных лечебно-профилактических мероприятий не требуется, при средней выраженности — показано применение соответствующих лечебно-профилактических средств, при сильной выраженности должны быть приняты экстренные меры вплоть до спуска с орбиты. Имея в виду 10-балльную оценку каждого из состояний, каждая градация включает 3,33 балла. Следовательно точность прогноза ±1,67 балла достаточна для исключения ошибки при принятии решений.

*Клинико-физиологические методы.* В настоящее время значительное внимание обращено на прогнозирование ортостатической неустойчивости, физической детренированности и вестибулярных нарушений в космическом полете. С этой целью на орбитальной станции «Салют-4» были установлены соответствующие испытательные стенды: устройство для создания отрицательного давления на нижнюю половину тела, велоэргометр и вращающееся кресло. Использование функционально-нагрузочных проб может рассматриваться как с позиций исследовательского, так и нормативного прогнозирования. В последнем случае оценка результатов должна проводиться не по степени отклонения от нормы, а по степени приближения к заведомо неблагоприятному состоянию. Например, при испытаниях на вращающемся кресле следят за появлением вегетативных расстройств, а вестибулярная устойчивость оценивается по числу туров вращения которые испытуемый перенес бы без симптомов укачивания.

Но для прогноза важны не симптомы уже развившихся патологических отклонений, а более ранние признаки, свидетельствующие о возможности развития ожидаемых отклонений.

Одним из наиболее трудных для оценки в условиях космического полета состояний является снижение сократительной способности сердца. Дело в том, что сердечный насос одним из первых должен перестраиваться на новый уровень функционирования в связи с перераспределением крови и относительным увеличением кровонаполнения легких. В последующем возникает сложная и динамичная причинно-следственная связь между параметрами сердечного выброса; метаболизмом миокарда и коронарным кровотоком, с одной стороны, и состоянием нейрогуморальной регуляции, энергетическим обменом и водно-электролитным балансом — с другой стороны. Некоторое представление о сложном характере перестройки сердечной деятельности в условиях длительного полета может быть получено в наземных экспериментах с воздействием антиортостаза. На рис. 37 представлены изменения средних значений амплитуд I цикла СКГ и амплитуд сегментов IJ БКГ при 45-суточной антиорто-

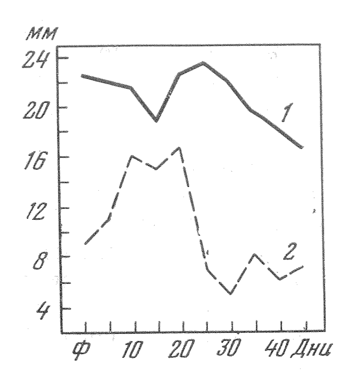



Рис. 37. Изменения амплитуд 1-го цикла сейсмокардиограммы (1) и сегментов IJ баллистокардиограммы (2) при 45-суточной антиортостатической гипокинезии

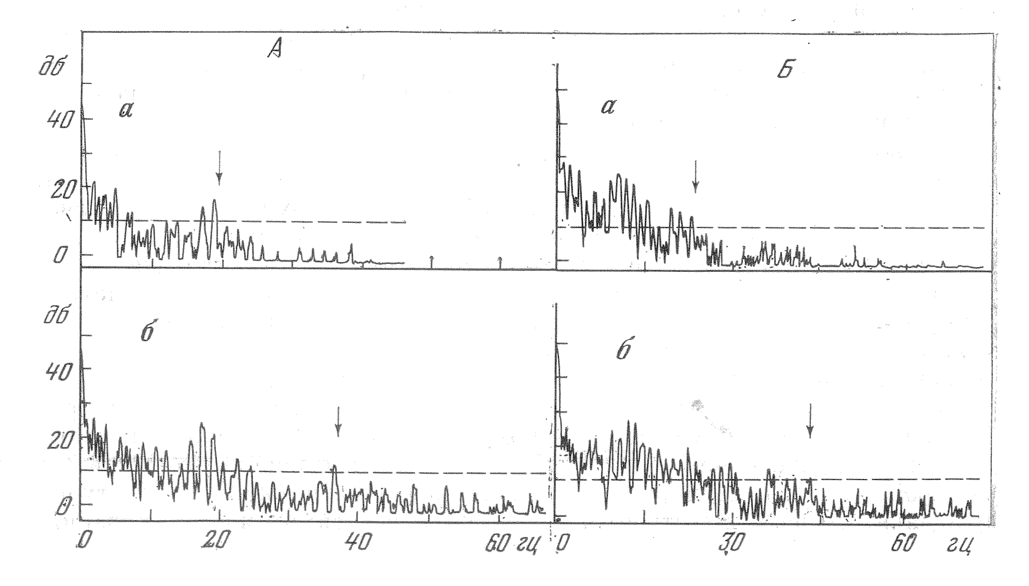



Рис. 38. Спектры сейсмокардиограммы при антиортостазе (−30°) (А) и в реальном космическом полете (Б) у космонавта Г. Т. Добровольского

А: а — исходное состояние; б — на 30-й мин. антиортостаза; Б: а — 3-й виток; б — 326-й виток



статической гипокинезии. Как видно из рис. 37, в первые 10—15 дней наблюдается уменьшение амплитуд I цикла СКГ и увеличение сегментов IJ БКГ. К 15 дню амплитуда I цикла достигает минимального по сравнению с исходным значением уровня (P≤0,05). Максимальное значение амплитуды IV БКГ наблюдалось на 10-й, 15-й и 20-й дни (P≤0,01). На 20-й день СКГ начинает увеличиваться, а на 25-й день на фоне возрастания СКГ начинается резкое падение амплитуды сегмента IJ БКГ. С 35-го дня уровень амплитуды I цикла СКГ устанавливается ниже исходного (P≤0,05), а сегмента IJ БКГ остается на исходном уровне. Нам представляется возможным следующим образом интерпретировать генез наблюдавшихся изменений. Снижение мышечных энерготрат и транспорта кислорода в результате гипокинезии ведет к снижению общей работы сердца и особенно к уменьшению активности левого желудочка. Это проявляется в виде постепенного снижения амплитуды I цикла. Одновременно в результате антиортостатического положения тела в малом круге кровообращения развиваются застойные явления, и компенсаторно усиливается сократительная активность правого желудочка, что проявляется увеличением амплитуды сегмента IJ БКГ. С 15-го дня в процесс компенсации включается также и более сильный левый желудочек. В результате увеличения работы левого сердца нагрузка на правый желудочек падает и сегмент IJ БКГ начинает уменьшаться. Затем с 30—35-го дня снижается и активность левого сердца (уменьшается амплитуда I цикла СКГ), что является следствием перехода сердечно-сосудистой системы на новый, более низкий уровень функционирования.

Таким образом, можно выделить три периода адаптации сердца к условиям антиортостатической гипокинезии: период преимущественного действия экстракардиальных факторов регуляции (наблюдаются в основном изменения БКГ); период одновременного действия экстра- и интракардиальных факторов регуляции (начинается увеличение амплитуды первого цикла СКГ); период преимущественного действия интракардиальных факторов регуляции. Указанные периоды соответствуют ранее описанным фазам приспособления сердца к условиям невесомости (Парин и др., 1967).

В процессе адаптации сердца к необычным условиям важное значение приобретает согласованность между деятельностью его правых и левых отделов. Для распознавания начальных признаков дискоординации сердечных сокращений мы использовали спектральный анализ сейсмокардиограмм (Антонец, Баевский, 1976). На рис. 38 представлены спектры СКГ на 30-й минуте антиортостаза с углом 30° и спектры СКГ космонавта Г. Т. Добровольского на 3 и 326 витках полета орбитальной станции «Салют». Как видно, в обоих случаях отмечается расширение спектра, связанное с дискоординацией сердечных сокращений, обусловленной перераспределением крови. В табл. 26 представлены результаты спектрального анализа СКГ у экипажа орбитальной станции «Салют» в сопоставлении с данными о гемодинамических изменениях, опубликованными В. А. Дегтяревым (1973). У Г. Т. Добровольского наиболее значительное расширение спектра СКГ было отмечено в первую неделю полета. При этом увеличивалась максимальная мощность спектра и мощность на частоте 20 гц. Работа левого желудочка несколько падала, а удельное

фактическое сопротивление (УФС) значительно увеличивалось. По-видимому, это соответствует первому периоду адаптации с преимущественным действием экстракардиальных факторов. К концу второй недели при тенденции к нормализации ширины спектра и максимальной мощности значительно падала мощность спектра на частоте 20 гц, что совпадает с увеличением работы левого желудочка и снижением до нормы УФС (период одновременного действия экстра- и интракардиальных факторов).

У В. Н. Волкова наиболее выраженное расширение спектра СКГ наблюдалось несколько позже, чем у Г. Т. Добровольского, примерно к концу второй недели полета и так же сопровождалось увеличением максимальной мощности спектра, снижением работы левого желудочка и увеличением УФС. У В. И. Пацаева расширение спектра СКГ стало заметным лишь к концу полета. При этом снижение работы левого желудочка не сопровождалось увеличением максимальной мощности спектра и увеличением УФС. Таким образом, имеется выраженная индивидуальность адаптации сердца к условиям невесомости, однако сохраняется определенная периодизация адаптационных реакций.

Во время полета первой экспедиции на орбитальной станции «Салют-4» состояние сократительной функции сердца оценивалось по данным анализа кривых распределения амплитуд I цикла СКГ. Полученные данные представлены в табл. 27.

Здесь мода определяет уровень функционирования миокарда, вариационный размах — активность саморегуляционных механизмов, в частности механизма Франка – Старлинга, а АМо характеризует степень централизации управления силой сердечных сокращений. У А. А. Губарева на второй день полета наблюдается четкая реакция в виде повышения активности саморегуляционных механизмов и снижения централизации управления. Однако к 20 дню полета и АМо и ΔX возвращаются к уровню, характерному для первого дня полета. При этом уровень функционирования миокарда (Мо) несколько снижен. Иной характер носит адаптация сердца к невесомости у Г. М. Гречко. На второй день полета у него так же, как и у А. А. Губарева, уменьшается АМо и увеличивается ΔX. Но эта реакция сохраняется и углубляется к 20 дню полета. При этом уровень функционирования миокарда (Мо) не снижается.

Таблица 26. **Результаты анализа сейсмокардиограмм у членов экипажа орбитальной станции «Салют»**

| Сутки полета | Параметры спектра | | | Показатели гемодинамики | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ширина, гц | максимальная мощность, дб | мощность на 20 гц, дб | работа левого желудочка, вт | удельное фактическое сопротивление |
| **Г. Т. Добровольский** | | | | | |
| На Земле | 40 | 25 | 12 | 7817 | 24 |
| 4—6 | 60 | 34 | 20 | 6610 | 40 |
| 13—16 | 52 | 28 | 8 | 8090—16 198 | 33—26 |
| **А. Н. Волков** | | | | | |
| На Земле | 42 | 25 | 16 | 9105 | 27 |
| 4—6 | 54 | 31 | 17 | 9568—11 997 | 23—30 |
| 13—16 | 56 | 33 | 19 | 7285 | 43 |
| 19—23 | 48 | 36 | 21 | 8938 | 22 |
| **В. И. Пацаев** | | | | | |
| На Земле | 49 | 29 | 13 | 9504 | 37 |
| 4—6 | 47 | 32 | 17 | 10 080 | 32 |
| 13—16 | 52 | 28 | 20 | 7928 | 28 |
| 19—23 | 55 | 34 | 17 | — | — |



Таблица 27. **Анализ кривых распределения амплитуд I цикла СКГ у экипажа орбитальной станции «Салют-4»**

| Статистический показатель | Дни полета | | | | Дни полета | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 12 | 20 | 1 | 2 | 12 | 20 |
| | **А. А. Губарев** | | | | **Г. М. Гречко** | | | |
| Мо (мода) | 26,2±<br>±4,7 | 27,0±<br>±5,2 | 26,0±<br>±4,7 | 22,0±<br>±2,8 | 36,6±<br>±9,2 | 30,8±<br>±12,7 | 38,8±<br>±6,1 | 35,5±<br>±7,0 |
| ΔX (вариационный размах) | 15,7±<br>±4,0 | 19,0±<br>±3,3 | 18,2±<br>±4,1 | 14,0±<br>±3,6 | 11,5±<br>±5,3 | 16,7±<br>±4,8 | 14,6±<br>±7,9 | 21,0±<br>±9,3 |
| АМо (амплитуда моды), % | 32,2±<br>±10,4 | 23,1±<br>±4,6 | 23,6±<br>±6,7 | 30,2±<br>±6,6 | 43,4±<br>±15,1 | 30,8±<br>±7,0 | 40,2±<br>±2,7 | 28,2±<br>±2,5 |

Таким образом, выявляются индивидуальные особенности адаптации сердца к условиям невесомости. У А. А. Губарева период преимущественного действия экстракардиальных факторов регуляции, по-видимому, продолжался более двух недель, поскольку лишь на 20-й день выявилось некоторое усиление централизации управления без заметного увеличения уровня функционирования миокарда. У Г. М. Гречко уже на 12-й день получены данные, свидетельствующие о включении в процесс адаптации интракардиальных механизмов (увеличение АМо при увеличении уровня функционирования). К 20 дню у него, по-видимому, преимущественно действуют интракардиальные механизмы, так как высокая саморегуляция миокарда (увеличение ΔX) сочетается с высоким уровнем функционирования сердца. Эти данные в сочетании с результатами корреляционного анализа (см. табл. 25) свидетельствуют о более оптимальной адаптации Г. М. Гречко к условиям невесомости. Как известно, реакции сердечно-сосудистой системы у Г. М. Гречко в периоде реадаптации были более адекватными, чем у А. А. Губарева.

Следовательно, спектральный анализ СКГ и анализ кривых распределения амплитуд I цикла позволяют выявить самые начальные изменения инотропной функции сердца, отражающие характер адаптации к условиям невесомости. Представленные выше результаты исследований иллюстрируют возможности прогностической оценки сократительной способности миокарда, возможность раннего распознавания изменений силы

сокращений и направленности этих изменений. Учитывая при этом общие закономерности адаптации сердца к перераспределению крови с последовательным включением вначале экстра-, а затем интракардиальной регуляции, мы можем осуществлять нормативное прогнозирование синдрома нарушения сократительной функции миокарда.

* * * * *

Опыт экспериментального прогнозирования состояния космонавтов в длительных космических полетах еще очень невелик. Однако сегодня мы уже можем говорить об основных направлениях исследований в области медицинского прогнозирования в космонавтике, можем предложить определенные методические подходы к решению многих конкретных задач. Определенный интерес представляют вопросы дальнейшего развития исследований в области прогностической оценки состояния экипажей космических кораблей и орбитальных станций. Можно перечислить следующие перспективные направления этой области исследований.

1. Дальнейшая разработка методологии прогнозирования. Исследование эффективности ряда методов, применяемых в других областях науки.

2. Углубление представлений о диапазонах нормы и донозологических состояниях. Изучение заболеваемости различных контингентов людей в связи с перенапряжением и астенизацией регуляторных механизмов. Проведение многопрофильных массовых обследований с целью оценки эффективности критериев определения степени адаптации организма к длительно действующим факторам внешней среды.

3. Изыскание новых методов для раннего распознавания начальных и скрытых изменений. Изучение биоритмологических характеристик организма и их синхронизации с факторами среды. Развитие математических методов анализа медико-физиологической информации.

4. Развитие технических средств для обеспечения исследований в модельных и реальных экспериментах. Создание единой системы сбора информации на этапах подготовки, полета и послеполетного обследования космонавтов.

Необычность и неопределенность задачи предсказания вероятного поведения живой системы в беспрецедентных условиях длительного космического полета требует создания новой методологии прогнозирования. Если на первых порах космическая медицина приспосабливает к своим целям уже существующие методы прогнозирования, то по мере увеличения наших знаний будут разрабатываться и новые принципы прогнозирования.

# Глава 7. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И ОТДЫХА ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ КОРАБЛЕЙ «СОЮЗ»

## ТЕХНИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ ПОЛЕТОВ

Условия орбитального полета жестко регламентируют жизнь космонавтов на борту космического корабля от старта до посадки. Так, начало сна и его продолжительность зависят от времени старта, прецессии и постепенного снижения орбиты.

Часы бодрствования и сна во многом определяются временем прохождения корабля над территорией Советского Союза, когда обязательно проводятся сеансы радио- и телесвязи, строгой «привязкой» ряда операций к определенным моментам полета, а также необходимостью выполнения членами экипажей совместных работ.

Операции, требующие предварительной ориентации корабля, проводились совместно не только в полете корабля «Союз-9», но и в полетах других космических кораблей серии «Союз». Одновременного участия двух космонавтов требовала также процедура взаимного медицинского контроля и некоторые медицинские эксперименты, в частности работа с комплексом приборов медицинского контроля «Полином», установленным на орбитальной станции «Салют».

Одной из важнейших особенностей суточного распорядка космонавтов является сдвиг фазы ритма их сна — бодрствования относительно обычного ее положения на шкале московского времени в условиях привычного образа жизни. Из табл. 28—32 следует, что минимальная величина этого сдвига — 30 мин. по и 30 мин. против часовой стрелки — зарегистрирована у членов экипажа корабля «Союз-13» на третьи и шестые сутки полета (см. табл. 30). Максимальная величина сдвига фазы ритма сна — бодрствования — 11 час. против часовой стрелки — наблюдалась на вторые сутки полета у всех членов экипажа корабля «Союз-10» (см. табл. 30).

В целом наименьшие величины фазового сдвига ритма сна — бодрствования отмечались у членов экипажей кораблей «Союз-13» (0,5 часа по часовой стрелке и 2,5 часа против часовой стрелки) (см. табл. 30) и «Союз 6, 7, 8» (1,5—2 часа против часовой стрелки) (табл. 28); наибольшие — у членов экипажей кораблей «Союз-10» и «Союз-15», у бортинженера орбитальной станции «Салют» В. Н. Волкова, а также у членов экипажа станции «Салют-3» на вторые сутки полета (8—11 час. против, либо по часовой стрелке) (см. табл. 30—32). Достаточно большой сдвиг фазы этого ритма, как правило, в пределах 4—7 час. по часовой стрелке, наблюдался у членов экипажа корабля «Союз-9» (см. табл. 29, рис. 39) и несколько меньший — 3—5,5 час. против часовой стрелки — у членов экипажей кораблей «Союз 3, 4, 5» (см. табл. 28). Сравнительно небольшой сдвиг фазы ритма сна — бодрствования — 1—3,5 часа по ча-

Таблица 28. **Сдвиг фазы ритма сна — бодрствования против часовой стрелки (по отношению к привычному суточному распорядку) у членов экипажей космических кораблей «Союз-3, 4, 5, 6, 7, 8» в отдельные сутки полета**

| Корабль | Сутки полета | Сдвиг времени начала сна относительно 23.00 по московскому времени | Сдвиг времени пробуждения относительно 7.00 по московскому времени |
|---|---|---|---|
| «Союз-3» | 3 | — | 3 часа 15 мин. |
| «Союз-4» | 1 | 3 часа | 4 часа |
| | 2 | 3 часа | 3 часа |
| | 3 | 4,5 часа | — |
| «Союз-5» | 1 | 3 часа | 3 часа |
| | 2 | 4,5 часа | — |
| | 3 | — | 5,5 часа |
| «Союз-6» | 4 | — | 1,5 часа |
| | 5 | 1 час. 40 мин. | 2 часа |
| «Союз-7» | 3 | — | 1,5 часа |
| | 4 | 1 час. 40 мин. | 2 часа |
| «Союз-8» | 2 | — | 1,5 часа |
| | 3 | 1 час. 40 мин. | 2 часа |

Таблица 29. **Сдвиг фазы ритма сна — бодрствования по часовой стрелке у экипажа «Союз-9»**

| Сутки полета | Сдвиг времени начала сна относительно 23.00 по московскому времени | Сдвиг времени пробуждения относительно 7.00 по московскому времени | Сутки полета | Сдвиг времени начала сна относительно 23.00 по московскому времени | Сдвиг времени пробуждения относительно 7.00 по московскому времени |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 час. | 7 час. | 10 | — | 4 часа 09 мин. |
| 2 | 7,5 часа | 7 час. | 12 | 5,5 часа | 5 час. |
| 4 | 7 час. | — | 13 | 4 часа | 1 час. 15 мин. |
| 5 | 6 час. | 6 час. | 14 | 4 часа | 3,5 часа |
| 6 | 6 час. | — | 15 | 4 часа | 4 часа |
| 7 | — | 5,5 часа | 16 | 4 часа | 4 часа |
| 8 | 5,5 часа | 5,5 часа | 17 | 4 часа | 4 часа |
| 9 | 5,5 часа | 5 час. | | | |

совой стрелке — был отмечен у членов экипажа орбитальной станции «Салют-3», начиная с третьих суток полета (см. табл. 32).

Другой, не менее существенной, особенностью ритма сна — бодрствования членов экипажей космических кораблей серии «Союз» была миграция фазы этого ритма, т. е. постепенное перемещение ее в ходе полета вдоль 24-часовой временно́й шкалы. Как видно из табл. 33, 34, эта миграция была направлена преимущественно против часовой стрелки. Проследить фактическую ежесуточную динамику миграции фазы ритма сна — бодрствования на протяжении всего полета применительно к конкретно-



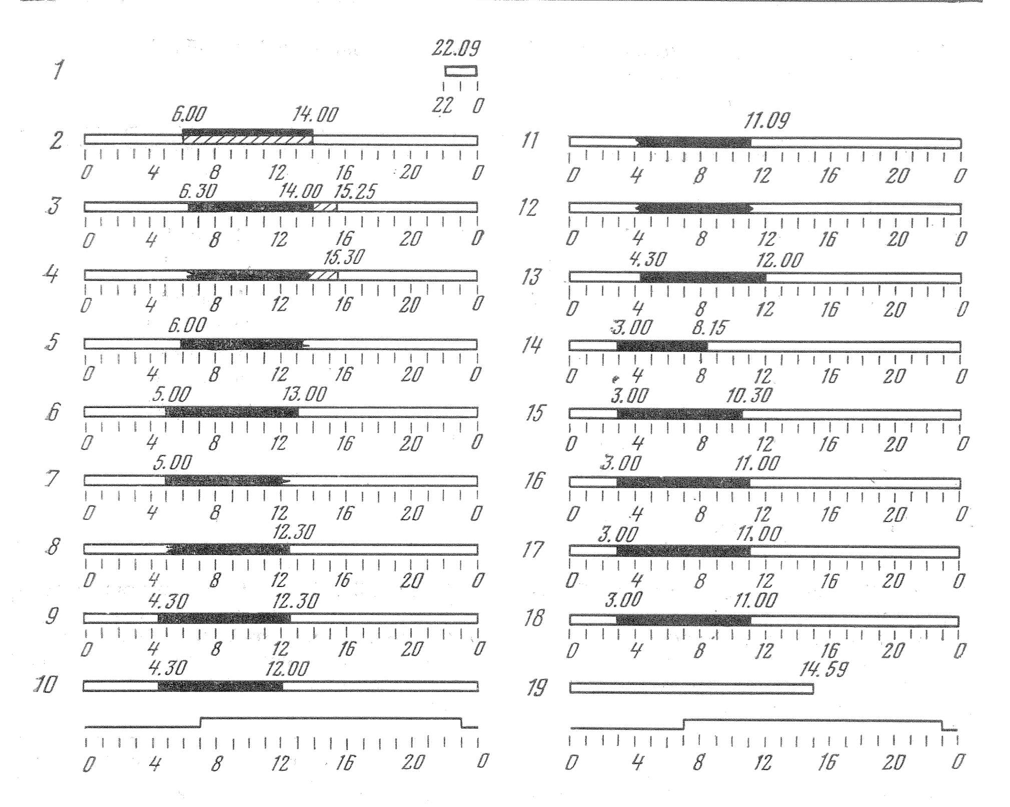



**Рис. 39. Распорядок сна — бодрствования экипажа корабля «Союз-9» со 2-го по 19-е июня 1970 г.**

Черная сплошная зона — время сна экипажа; с четкими ограничениями, когда точно известно время начала и окончания (московское время указано над зоной), с нечеткими — когда эти данные неточны (московское время не указано); заштрихованная зона — период пребывания корабля вне зоны радиовидимости. Нижняя линия — шкала времени

му кораблю ни в одном случае не удается, можно лишь оценить величину такой миграции в отдельные сутки. Судя по данным табл. 33 и 34, эта величина у членов экипажей кораблей «Союз-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10» и «Союз-13» составляла большей частью 30 мин., 1 час, 1,5 часа, а иногда достигала 2—3 час.

Особенность миграции фазы ритма сна — бодрствования участников полета корабля «Союз-9» состояла в том, что она совершалась не ежесуточно, а «импульсно», т. е. один раз в несколько суток (см. табл. 34, рис. 39). Применительно к этому полету можно рассчитать так называемую условную среднюю величину ежесуточной миграции фазы ритма сна — бодрствования. Как следует из рис. 39, в первые и четвертые сутки космонавты легли спать в 6.00. Следовательно, в эти первые четверо суток однонаправленной миграции времени начала сна против часовой стрелки не было. Такая миграция началась только с пятых суток и с периодической стабилизацией фазы продолжалась до тринадцатых суток включительно. Общий сдвиг фазы начала сна за все это время составил 3 часа. Если бы сдвиг фазы совершался без ее эпизодической стабили-

Таблица 30. **Сдвиг фазы ритма сна — бодрствования экипажей кораблей «Союз-10», «Союз-13» и Союз-15»**

| Корабль | Сутки полета | Сдвиг времени начала сна относительно 23.00 по московскому времени | Сдвиг времени пробуждения относительно 7.00 по московскому времени |
|---|---|---|---|
| «Союз-10» | 1 | 7 час. 50 мин. * | 8 час. * |
| | 2 | 9 час. 30 мин. * | 11 час. * |
| «Союз-13» | 1 | — | 1 час ** |
| | 3 | — | 30 мин. ** |
| | 5 | — | 1 час ** |
| | 6 | — | 30 мин. * |
| | 7 | — | 45 мин. * |
| | 8 | 2 часа 30 мин. * | — |
| «Союз-15» | 2 | 9 час. ** | — |

* Против часовой стрелки. ** По часовой стрелке.

Таблица 31. **Сдвиг фазы ритма сна—бодрствования против часовой стрелки (времени пробуждения) экипажа «Салют» в отдельные сутки полета, исчисленные от момента выведения на орбиту корабля «Союз-11»**

| Космонавт | Сутки полета | Сдвиг относительно 7.00 по московскому времени |
|---|---|---|
| **Г. Т. Добровольский** | 4 | 6 час. 09 мин. |
| | 7 | 5 час. 10 мин. |
| | 9 | 3 часа 30 мин. |
| **В. Н. Волков** | 7 | 9 час. 30 мин. |
| | 9 | 8 час. 15 мин. |
| | 13 | 8 час. 40 мин. |
| **В. И. Пацаев** | 7 | 1 час. |

Таблица 32. **Сдвиг фазы ритма сна — бодрствования по часовой стрелке у экипажа «Салют-3» в отдельные сутки полета, исчисленные от момента выведения на орбиту корабля «Союз-14»**

| Сутки полета | Сдвиг времени начала сна относительно 23.00 по московскому времени | Сдвиг времени пробуждения относительно 7.00 по московскому времени |
|---|---|---|
| 2 | 10 час. | — |
| 3 | — | 2 часа 40 мин. |
| 7 | — | 2 часа 40 мин. |
| 9 | — | 1 час |
| 10 | — | 2 часа 30 мин. |
| 11 | 3 часа 30 мин. | — |
| 13 | 2 часа 40 мин. | 2 часа 40 мин. |
| 15 | — | 2 часа 50 мин. |

зации, то он был бы равен 20 мин. в сутки. Поскольку же в некоторые сутки положение фазы оказывалось стабильным, средняя величина сдвига является действительно условной.

Точно таким же образом в полете корабля «Союз-9» вычислялась условная среднесуточная величина миграции времени окончания сна, а именно: в первые двое суток космонавты пробуждались в одно и то же время (14.00), т. е. миграции фазы окончания сна, очевидно, не было. Данные относительно окончания сна в третьи и четвертые сутки отсутствуют, но так как в первые четверо суток закономерной миграции времени начала сна против часовой стрелки не отмечалось, можно предположить, что и время окончания сна в эти четверо суток было прибли-



Таблица 33. **Миграция фазы ритма сна — бодрствования против часовой стрелки (относительно предшествующих суток) экипажей кораблей «Союз-4, 5, 6, 7, 8», «Союз-10» и «Союз-13»**

| Корабль | Сутки полета | Миграция времени начала сна | Миграция времени пробуждения | Корабль | Сутки полета | Миграция времени начала сна | Миграция времени пробуждения |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| «Союз-4» | 2 | Нет | 1 час. * | «Союз-8» | 3 | — | 30 мин. |
| | 3 | 1,5 часа | — | «Союз-10» | 2 | 1 час 40 мин. | 3 часа |
| «Союз-5» | 2 | 1,5 часа | — | «Союз-13» | 6 | — | 1 час 30 мин. |
| «Союз-6» | 5 | — | 30 мин. | | 7 | — | 15 мин. |
| «Союз-7» | 4 | — | 30 мин. | | | | |

* По часовой стрелке.

Таблица 34. **Миграция фазы ритма сна — бодрствования (относительно предшествующих суток) экипажа корабля «Союз-9»**

| Сутки полета | Миграция времени начала сна | Миграция времени пробуждения | Сутки полета | Миграция времени начала сна | Миграция времени пробуждения |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 30 мин. * | Нет | 10 | — | 51 мин. ** |
| 5 | 1 час ** | — | 13 | 1,5 часа ** | 3 часа 45 мин. ** |
| 6 | Нет | — | 14 | Нет | 2 часа 15 мин. * |
| 8 | — | Нет | 15 | » | 30 мин. * |
| 9 | Нет | — | 16 и 17 | » | Нет |

* По часовой стрелке. ** Против часовой стрелки.

Таблица 35. **Условная среднесуточная величина миграции фазы ритма сна — бодрствования экипажей кораблей «Союз-9» и «Салют»**

| Космический объект, члены экипажа | Этап полета, сутки | Миграция времени начала сна | Миграция времени пробуждения |
|---|---|---|---|
| «Союз-9» | 5—13 | 20 мин.** | 16 мин. ** |
| Станция «Салют» | | | |
| Г. Т. Добровольский | 5—9 * | — | 32 мин. *** |
| В. Н. Волков | 8—13 * | — | 8 мин. *** |

* Сутки полета экипажа орбитальной станции «Салют» исчислены от момента выведения на орбиту корабля «Союз-11».
** Против часовой стрелки.
*** По часовой стрелке.

зительно одинаковым. На пятые сутки космонавты проснулись в 13.00 и затем вплоть до пятнадцатых суток включительно фаза окончания сна в общей сложности сместилась на 3 часа. Условная средняя величина сдвига фазы составляет, очевидно, 16 мин. против часовой стрелки.

Данные об условной среднесуточной величине миграции фазы ритма сна — бодрствования членов экипажа космического корабля «Союз-9» представлены в табл. 35. Здесь же приводятся условные среднесуточные величины миграции фазы окончания сна (времени пробуждения) на отдельных этапах полета командира орбитальной станции «Салют» Г. Т. Добровольского и бортинженера той же станции В. Н. Волкова.

Анализ скорости и направления миграции периода пребывания корабля вне зоны радиовидимости с Земли может дать дополнительные сведения для оценки характера миграции фазы ритма сна — бодрствования космонавтов, так как можно предположить, что в тех случаях, когда их сон совпадал с «глухими» витками, время отхода ко сну и пробуждения мигрировало в более или менее близком соответствии с миграцией периода пребывания корабля на «глухих» витках. Характер миграции фазы ритма сна — бодрствования членов экипажа орбитальной станции «Салют» не был связан с миграцией периода пребывания станции в пределах зоны радиовидимости с Земли, а обусловливался другими обстоятельствами: круглосуточной вахтой на борту станции, необходимостью в отдельные периоды полета выполнять работы, требующие совместного участия всех членов экипажа, а также, по-видимому, и жесткой «привязкой» отдельных операций к определенным виткам.

Обеспечение непрерывной связи с космическим объектом в ходе всего полета позволяет избежать постоянной однонаправленной миграции фазы ритма сна — бодрствования космонавтов и приблизить время их сна к привычному. Именно такая ситуация сложилась в полете орбитальной станции «Салют-3».

Анализ ритма сна — бодрствования членов экипажа орбитальной станции «Салют-3» показывает, что до стыковки корабля «Союз-14» со станцией «Салют» (стыковка состоялась примерно в полночь по московскому времени с 4 на 5 июля, на 19-м витке) и в первые сутки после стыковки космонавты спали в дневные часы по московскому времени. Но уже начиная со вторых суток пребывания на станции «Салют-3» (с третьих суток полета экипажа в космосе) сон переместился в сторону ночных часов таким образом, что бóльшая его часть стала приходиться на привычное время. При этом на всем протяжении дальнейшего полета однонаправленная миграция фазы ритма сна — бодрствования не наблюдалась — на третьи, седьмые, десятые, тринадцатые и пятнадцатые сутки полета рабочий день космонавтов начинался практически в одно и то же время (в 9.30—9.50 по московскому времени).

Таким образом, отсутствие «глухих» витков является реальной предпосылкой к оптимизации ритма сна — бодрствования космонавтов.

Продолжительность сна большей частью составляла 7—8 час. и лишь в отдельных случаях уменьшалась до 6 час. 30 мин. и даже до 5 час. 15 мин. По-видимому, в некоторых случаях эти цифры характеризуют не фактическую, а предписанную продолжительность сна.



Организация жизни человека на борту космического корабля определяется далее характером профессиональной деятельности. Самыми частыми и ответственными операциями в полетах кораблей «Союз» были операции ручного управления кораблем: коррекция орбиты, ориентация корабля, закрутка, взаимное маневрирование кораблей (сближение, причаливание, стыковка, расстыковка). Количество таких операций было весьма велико. Так, например, в групповом полете кораблей «Союз-6, 7, 8» было выполнено в общей сложности более 30 маневров на орбите. В полете корабля «Союз-9» несколько десятков раз выполнялась ориентация корабля, три раза корректировалась орбита, а закрутка производилась почти ежедневно.

К числу постоянных операций, выполнявшихся космонавтами на кораблях серии «Союз», относятся: контроль систем, кино- и фотосъемки; различные визуальные наблюдения внекабинных объектов, поверхностей иллюминаторов и т. д.; проведение научных экспериментов с использованием специальной аппаратуры; откачка конденсата системы терморегуляции; выполнение большого количества различных расчетов; ведение бортовой документации; процедуры медицинского контроля; медико-биологические и психологические эксперименты; радиопереговоры и телевизионные репортажи с борта корабля; отработка методов автономной навигации, системы ориентации и управления движением.

К научным исследованиям, выполнявшимся космонавтами, относились регистрация интенсивности заряженных частиц и зарядового спектра ядер космических лучей; измерение величины тканевых доз радиации; работа с бортовой обсерваторией «Орион»; изучение электронного резонанса в полях высокой частоты; измерение параметров ионосферы; измерение пространственного распределения заряженных частиц и регистрация ионов и электронов на орбите, близкой к круговой, и др.

Такие виды деятельности, как научные исследования, работа с измерительной аппаратурой, контроль систем и т. д., по своему психологическому содержанию аналогичны соответствующим работам на Земле. Но условия космического полета накладывают и на них специфический отпечаток, что прежде всего связано с высокой насыщенностью программы полета и неизбежно при этом могущим возникнуть — и действительно эпизодически возникавшим — дефицитом времени. В этом же направлении действовала и невесомость, факт которой в наземных тренировках не учитывался.

Еще одна причина возникновения в космосе дефицита времени — расход его на практически неизбежную эмоциональную «разрядку» после успешного выполнения наиболее ответственных операций. Именно такой случай описывает Е. В. Хрунов (1972). «После проведения стыковки кораблей («Союз-4» и «Союз-5» — *Б. А., С. С.*) и оптимального выполнения этой операции у экипажей наблюдался вполне закономерный «взрыв» положительных эмоций. К сожалению, при планировании полета на Земле это чисто человеческое чувство не учли и начали оперативный отсчет времени по выполнению перехода с момента механического захвата. На самом же деле в реальной обстановке эмоции радости по поводу успешной стыковки создали предпосылки для образования дефицита времени на выполнение перехода. Этот дефицит возник уже с момента начала надевания скафандров.

В дальнейшем дефицит времени в десять минут, который появился после выполнения стыковки, в период подготовки к переходу не только не уменьшился, а увеличился и достиг 14—15 мин. Это было связано с некоторыми отклонениями в действиях переходящих космонавтов, а также с определенными трудностями, возникшими при выполнении программы перехода» (стр. 83).

По-видимому, собственный опыт работы в космосе, а также анализ опыта других участников космических полетов по записям в бортжурналах, по документам наземных пунктов контроля и управления полетами, наконец, по результатам личных бесед, в ходе которых удавалось выяснить многие интересные подробности, дали Е. В. Хрунову (1972) достаточно серьезные основания для обобщающего утверждения: «Прежде всего, в космосе следует ожидать возникновения дефицита времени...» (стр. 84).

Непосредственным результатом дефицита времени оказались некоторые изменения программы полета, в частности отказ от проведения некоторых экспериментов. Экипажу корабля «Союз-9» для восполнения дефицита времени приходилось использовать часы отдыха.

Дефицит времени увеличивал интенсивность работы космонавтов, выполнявших и без того насыщенные программы. Каждый рабочий день участников полета корабля «Союз-9» «... как правило продолжался около 16 час. и отличался интенсивной напряженной деятельностью» (Сообщение ТАСС, «Правда», 16 июня 1970 г., стр. 1). Не менее насыщенной была программа полета орбитальной станции «Салют».

Чрезвычайно высокой напряженностью отличалась программа полета корабля «Союз-13», до отказа заполненная научными экспериментами. Однако четкая работа экипажа и наземных служб позволила космонавтам осуществить некоторое опережение программы.

До предела был загружен работой экипаж станции «Салют-3». «Нагрузка у космонавтов была чрезвычайно большой»,— сообщил В. А. Шаталов (В. Губарев. «Возвращение «Союза». «Комсомольская правда», 20 июля 1974 г., стр. 4). На пресс-конференции бортинженер станции Ю. П. Артюхин сказал: «Мы работали иногда по 16 час. в сутки» (Г. Бочаров. «Рассказывают космонавты». «Комсомольская правда», 21 июля 1974 г., стр. 4). В частности, почти 16 час. продолжался рабочий день этого экипажа сразу после старта корабля «Союз-14».

Поэтому неудивительно, что члены экипажа станции «Салют-3» «...постоянно просили разрешения поработать за счет сэкономленного времени от еды и отдыха» (В. Губарев. «Возвращение «Союза». «Комсомольская правда», 20 июля 1974 г., стр. 4).

Программа полетов кораблей «Союз» включала и такие неизбежные и необходимые процедуры, как питание, туалет, физические упражнения; также отводилось время на отдых (помимо сна).

Космонавты питались четыре раза в сутки. Продолжительность каждого приема пищи составляла от 20 до 40 мин. В полете корабля «Союз-13» космонавты иногда использовали время, предназначенное для приема пищи, на проведение экспериментов.

В полетах кораблей «Союз-3, 4, 6, 7, 8» члены экипажа делали «космическую зарядку» — комплекс упражнений после сна. На корабле «Союз-9» физические упражнения выполнялись ежедневно в течение всего полета два раза в сутки — после сна, перед первым завтраком (на третий день полета), либо после первого завтрака (на пятнадцатый день) и перед ужином. Продолжительность каждого сеанса физических упражнений составляла от 50 мин. до 1 часа. В полетах кораблей «Союз-6, 7, 8, 9» перед сеансом физических упражнений и после него проводился медицинский контроль состояния некоторых систем организма (в частности, у членов экипажа корабля «Союз-9» регистрировались артериальное давление, частота пульса и дыхания). В начале пятнадцатого рабочего дня бортинженер корабля «Союз-9» В. И. Севастьянов осуществлял кинофотосъемку физических упражнений, выполнявшихся А. Г. Николаевым.



Членам экипажа орбитальной станции «Салют» в соответствии с программой полета на физические упражнения отводилось ежедневно 2 часа; кроме того, перед сном они должны были выполнять получасовую «прогулку» — ходьбу по движущейся дорожке.

Свободного времени у космонавтов вследствие высокой насыщенности полетных программ оставалось немного. В полетах корабля «Союз-9» и орбитальной станции «Салют» членам экипажа ежедневно отводилось 2 часа на отдых. Но члены экипажа корабля «Союз-9» использовали большую часть 2-часового послеобеденного отдыха для оформления бортовой документации. Однако у них находились свободные минуты для того, чтобы поинтересоваться событиями на Земле, спортивными новостями, в частности ходом чемпионата мира по футболу, послушать музыку. На десятый день полета А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов в соответствии с программой отдыхали больше, чем в предыдущие дни. После второго завтрака они играли в шахматы и читали книги. В этот же день они сделали генеральную уборку в жилых отсеках корабля.

На орбитальной станции «Салют» космонавты, по словам В. И. Пацаева, также имели очень мало свободного времени. Правда, для отдыха программа полета станции «Салют» предусматривала три выходных дня: 13.VI (день на стыке седьмых и восьмых суток полета), 17.VI (11—12 сутки полета) и 20.VI (14—15 сутки полета). Члены экипажа орбитальной станции «Салют» в свободное время читали книги из бортовой библиотечки, слушали музыку (на станции был магнитофон с пленками), коротковолновые радиопередачи и радиостанцию «Маяк». В их распоряжении имелись также альбомы для рисования. В этом полете каждый член экипажа использовал личное время по собственному усмотрению, так как специально разработанной программы организации свободного времени не было.

Члены экипажа космического корабля «Союз-13», по словам бортинженера В. П. Лебедева, отдыхали в основном во время приема пищи.

Экипаж станции «Салют-3» отдыхал на девятые сутки полета. После обеда космонавты провели уборку помещений станции, затем выполняли легкие физические упражнения, играли в шахматы, слушали музыку.

Таким образом, суточный распорядок членов экипажей кораблей серии «Союз» характеризовался сдвигом фазы ритма сна — бодрствования, т. е. ежесуточным ее отклонением от обычного (исходного) положения на шкале московского времени. В полетах продолжительностью свыше

одних суток это отклонение изменялось в связи с миграцией фазы ритма сна — бодрствования. Величина сдвига фазы этого ритма на кораблях «Союз-6, 7, 8» достигала 2 час. против часовой стрелки, «Союз-13» — 2,5 час. против часовой стрелки, «Союз-3, 4, 5» — 5,5 час. против часовой стрелки, на корабле «Союз-9» — 7,5 час. по часовой стрелке, на корабле «Союз-15» — 9 час. по часовой стрелке, на орбитальной станции «Салют» — 9,5 час. против часовой стрелки, на корабле «Союз-10» — 11 час. против часовой стрелки. На орбитальной станции «Салют-3» на вторые сутки пребывания экипажа в космосе (считая с момента старта корабля «Союз-14») сдвиг фазы ритма сна — бодрствования космонавтов составлял 10 час. по часовой стрелке, а в последующие сутки значительно уменьшился (размеры его колебались в отдельные дни в пределах 1—3,5 час. по часовой стрелке).

Величина однократного перемещения фазы ритма сна — бодрствования в процессе ее миграции на кораблях «Союз-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10» и «Союз-13» колебалась от 15 мин. до 3 час. 45 мин. Миграция совершалась преимущественно против часовой стрелки и реже — по часовой стрелке. Условная средняя ежесуточная величина миграции фазы ритма сна — бодрствования на корабле «Союз-9» составляла 16—20 мин. против часовой стрелки, на орбитальной станции «Салют» у В. Н. Волкова — 8 мин. по часовой стрелке, у Г. Т. Добровольского — 32 мин. по часовой стрелке.

Продолжительность сна космонавтов большей частью составляла 7—8 час. в сутки, однако есть основания полагать, что сон не всегда был достаточно полноценным в связи с неудобствами, порождаемыми невесомостью, и высокой эмоциональной напряженностью космонавтов.

Каждая профессиональная и тем более бытовая деятельность космонавтов имеет по своему психологическому содержанию аналогию среди уже хорошо известных на Земле. Это относится и к наиболее специфической деятельности космонавтов — ручному управлению космическим кораблем, аналогичной деятельности летчика, пилотирующего современный сверхзвуковой всепогодный самолет. Однако аналогия не означает полного тождества. В условиях космоса многие близко совпадающие по своей психологической структуре «земные» и «космические» операции и процедуры различаются некоторыми особенностями. Исключительную роль в этом отношении играет невесомость. Так, невесомость значительно трансформирует те афферентации (кинестезическую, вестибулярную, тактильную, интероцептивную), которые участвуют в процессе отражения приборной информации, и тем самым затрудняет перенос летных и тренажерных навыков в условия реального космического полета. Невесомостью определяется и увеличение продолжительности выполнения многих рабочих актов, что нередко создает дефицит времени.

Яркий эмоционально насыщенный фон, на котором развертывается психическая жизнь человека в космосе, стимулируя рабочую активность космонавтов, в то же время является одним из источников дефицита времени, который в свою очередь усиливает эмоциональную и интеллектуальную напряженность.



## НЕКОТОРЫЕ БИОРИТМОЛОГИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ КОРАБЛЕЙ «СОЮЗ»

Как показали результаты многочисленных исследований, все доступные наблюдению и анализу процессы и функции организма человека, как и других живых организмов, протекают волнообразно, согласно закону незатухающих ритмических колебаний. Изучение организма человека как колебательной системы показало, что эта система включает в свой состав большое количество ритмов самой разной частоты и что все эти ритмы объединяются в сложную функциональную структуру ритмом с длительностью периода около 24-х часов (откуда и название этого ритма — околосуточный, или циркадианный). Изучение циркадианной ритмики показало, что она непосредственно связана с общим функциональным состоянием организма и что любое ее нарушение приводит к ухудшению этого состояния. В случаях быстрого изменения привычного распорядка жизни (трансконтинентальные перелеты, ночные и вечерние смены, арктические и антарктические зимовки и т. д.) согласованная во времени система циркадианных ритмов повреждается — фазы отдельных составляющих эту систему ритмов сдвигаются на оси времени, вследствие чего общая фазовая архитектоника циркадианной системы страдает в той или иной степени. Рассогласование по фазе циркадианных ритмов организма получило общее название *десинхроноза*. Симптоматика десинхроноза хорошо известна: нарушение сна, аппетита, падение рабочей продуктивности, диспептические и невротические расстройства и в особо тяжелых случаях — органические заболевания. Поддержание согласованности циркадианных ритмов обеспечивается внешними циклически изменяющимися факторами, так называемыми датчиками времени, среди которых выделяют физические циклы, генерируемые вращением Земли вокруг своей оси (прежде всего, циклы день — ночь) и социальные циклы (ритмы общественной жизни). Нарушение синхронности датчиков времени и циркадианных ритмов организма и является основной причиной десинхроноза. Есть все основания полагать, что в условиях орбитальных космических полетов человек сталкивается с опасностью десинхроноза, поскольку в этих условиях не всегда возможно придерживаться привычного, земного ритма жизни, а кроме того, рассогласование циркадианных ритмов организма провоцируется воздействием ряда стрессоров и прежде всего — невесомости (в работах отечественных и зарубежных исследователей было показано, что десинхроноз возникает не только при изменении системы датчиков времени, но и при стрессе любой этиологии). Изучение ответных реакций циркадианной системы на воздействие условий космического полета составляет одну из главных задач нового научного направления — космической биоритмологии.

Во время полетов кораблей «Союз» состояние циркадианной ритмики космонавтов специально не исследовалось. Однако результаты текущего медицинского контроля и субъективные данные членов экипажей позволяют в какой-то степени судить о состоянии циркадианной периодики частоты пульса (Лицов, 1972) и взаимной синхронизации циркадианных ритмов организма космонавтов. Судя по результатам медицинского контроля, у членов экипажей кораблей «Союз-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9» суточная периодика частоты пульса в целом была достаточно устойчивой, однако в

отдельные сутки отмечались ее нарушения. Такие эпизодические нарушения ритма частоты сердечных сокращений, по-видимому, следует отнести к показателям трудных состояний организма, так как многочисленные данные, полученные в экспериментах на Земле, свидетельствуют о том, что фаза ритма частоты пульса исключительно быстро следует за фазой ритма сна — бодрствования.

Анализ условий полета космического корабля «Союз-9» дает основания полагать, что «... мигрирующие сутки... могут быть одной из причин утомления космонавтов, отмеченного ими впервые на 12—13-е сутки полета...» и что «...негативное влияние невесомости усиливалось периодическими изменениями ритма сна — бодрствования...» (Газенко, Алякринский, 1970, стр. 46). Несомненно, однако, что даже если режим сна — бодрствования космонавтов близок к привычному, использование в этих условиях 16-часового рабочего дня неизбежно скажется на их общем состоянии и работоспособности.

Отмеченные выше нарушения исходного состояния космонавтов, зарегистрированные в полетах кораблей «Союз» и в послеполетном периоде, несомненно, являются результатом интегрального воздействия всех негативных факторов космического полета, в том числе и нарушений привычного для человека ритма сна — бодрствования. Даже в условиях Земли такие нарушения сопровождаются десинхронозом, который с полным правом может быть отнесен к числу стрессовых состояний. Кроме того, не исключено, что наиболее значимый фактор космического полета — невесомость — в качестве сильного стрессора усугубляет развивающийся в космосе десинхроноз.

## РЕКОМЕНДАЦИИ К ПОСТРОЕНИЮ РЕЖИМА ТРУДА И ОТДЫХА КОСМОНАВТОВ В ДЛИТЕЛЬНЫХ ПОЛЕТАХ

Одним из основных условий сохранения здоровья и высокой, устойчивой работоспособности человека в космосе является правильно построенный распорядок его жизни, рационально организованный режим труда и отдыха. Такая организация является успешной только в том случае, если в ее основу положен принцип ритма. Для человека как ритмически колеблющейся биологической системы любой распорядок жизни, не подчиненный принципу ритма, является неприемлемым.

В настоящее время оптимальный режим труда и отдыха космонавтов должен строиться на основе 24-часовых суток и предусматривать обязательное совпадение фазы ритма сна — бодрствования с привычным положением ее в условиях Земли для всех членов экипажа.

Однако, как показывает опыт полетов кораблей «Союз», такие требования чаще всего не выполнялись. Но даже если при построении режима труда и отдыха будет сохранен 24-часовой ритм сна — бодрствования и обеспечено совпадение времени сна космонавтов с привычными ночными часами, поддержание устойчивости циркадианной системы организма потребует повышенного напряжения механизмов адаптации, так как в космосе резко нарушается система физических и социальных датчиков времени.



Таким образом, становится очевидной актуальность разработки системы мероприятий по биоритмологическому отбору к длительным космическим полетам таких кандидатов, которые наименее болезненно переносили бы приспособление к космическим суткам. Современное состояние проблемы биоритмологического отбора рассмотрено в работе С. И. Степановой (1975).

Существенное значение для сохранения нормальной ритмики организма имеет правильное чередование основных элементов суточного распорядка: сна, работы и отдыха. Согласно Дэвису (Davies, 1971), обычная последовательность этих элементов: *сон — работа — отдых* у работающих в ночные смены оказывается нарушенной и выглядит следующим образом: *сон — отдых — работа*. Результатом такого нарушения является утомление. После перевода работников ночных смен на режим с нормальным чередованием сна, работы и отдыха наблюдается улучшение их самочувствия как на работе, так и дома.

При построении режима труда и отдыха космонавтов необходимо сохранять естественную последовательность этих его компонентов.

Усвоение нового ритма сна — бодрствования — это прежде всего налаживание полноценного сна: можно утверждать, что именно сон, его качество и продолжительность, определяет успех приспособления к необычному режиму труда и отдыха.

Оптимальная непрерывная продолжительность однократного сна должна составлять 7—8 час. в сутки. Результаты специального исследования свидетельствуют о том, что сон по 3 часа в сутки даже в течение 8 дней оказал выраженное негативное влияние как на работоспособность, так и на состояние испытуемых (Webb, Agnew, 1965). По-видимому, и 4-часовые периоды сна следует считать недостаточными. Возможно, недостаточность таких периодов сна в течение суток объясняется тем, что общая продолжительность парадоксального сна оказывается резко сокращенной. Известно, что «у нормального индивидуума парадоксальный сон появляется только после первого подготовительного цикла медленного сна продолжительностью около 120 мин.» (Jouvet, 1968, стр. 203).

Эффективным средством налаживания сна в любых неблагоприятных условиях (эмоционально насыщенные ситуации, необычные часы сна и т. д.) является аутогенная тренировка (Марищук, 1967; Свядощ, Ромен, 1967; Гурвич и др., 1967). А. Г. Панов и В. С. Лобзин (1968) высказываются в пользу применения в длительных космических полетах аутогенной тренировки с целью регуляции сна космонавтов.

Весьма желательным является обеспечение одновременного сна всех членов экипажа — в этом случае совпадающий по фазе ритм сна — бодрствования всех космонавтов выступит в роли социального синхронизатора. При непрерывном дежурстве на борту космического объекта космонавтам приходится спать по очереди, в результате чего для каждого участника полета режим труда и отдыха его товарищей становится социальным десинхронизатором. Неодновременный сон членов экипажа является предпосылкой к развитию десинхроноза.

Большое значение для обеспечения полноценного сна имеет поддержание гигиенических параметров микроклимата в объекте, минимальной освещенности, тишины, оборудование удобного спального места с учетом невесомости.

Применение снотворных или стимуляторов центральной нервной системы в космическом полете должно допускаться лишь в самых крайних случаях.

По данным Освальда (1969), барбитураты и амфетамин подавляют парадоксальный сон. После приема барбамила в терапевтической дозе (0,2 г) в момент пробуждения отмечаются вялость, апатия, снижение помехоустойчивости, увеличение латентного периода двигательных реакций (Лебедева, 1969). Если в кратковременных полетах или на отдельных этапах длительных полетов с приемом снотворных и стимуляторов еще можно примириться, то систематический прием таких средств, ставший правилом и заменивший собою все другие средства налаживания сна и поддержания работоспособности, категорически исключается.

Налаживание сна во многом зависит также и от организации рабочей деятельности космонавтов. Такая организация предполагает прежде всего определение продолжительности рабочего периода в рамках суток, недели и т. д. Учитывая, что условия космического полета являются более трудными, а в ряде случаев и стрессовыми по сравнению с земными условиями, продолжительность рабочего дня и рабочей недели космонавтов не должна превышать их продолжительности на Земле.

В течение каждых отдельных суток космонавты бодрствуют в среднем около 16 час. Как и в условиях Земли, на борту космического корабля человек в период бодрствования испытывает неодинаковые по своей интенсивности интеллектуальные и эмоциональные напряжения. Характеристика динамики этих напряжений, описанная А. М. Вейном (1970), остается в силе и для условий космоса. «Совершенно очевидно,— замечает А. М. Вейн,— что в течение дня мы переходим от одного вида бодрствования к другому. Можно условно различать три уровня бодрствования: напряженное, связанное с эмоциональной и интеллектуальной деятельностью; среднее — спокойная умственная или физическая работа, не требующая напряжения аффективной сферы; сниженное — состояние созерцания, известного самоуглубления, двигательного покоя. ...Специальные исследования показали, что поддерживать напряженное бодрствование более 4-х час. подряд трудно» (стр. 62, 63). Состоянием напряженного бодрствования в космических полетах отмечены такие рабочие операции, как маневрирование корабля, особенно причаливание, стыковка, расстыковка. Именно поэтому длительность непрерывной вахты космонавта, заполненной такими и аналогичными операциями, не должна превышать 4-х час. К видам деятельности, выполняемым на уровне напряженного бодрствования, следует отнести также различные работы, связанные с разнообразными расчетами и вычислениями, в особенности, если они ограничены во времени.

Исследователи, изучавшие деятельность операторского профиля в наземных условиях, также рекомендуют ограничивать продолжительность непрерывной вахты тремя-четырьмя часами (Алякринский, 1971).

При расстановке рабочих операций, характеризующихся напряженным бодрствованием, в течение дня следует принимать во внимание принцип бигеминуса. Согласно этому принципу, во время рабочего дня у человека отмечается два периода повышенной работоспособности: с 9.00 до 13.00 и с 15.00 до 19.00 (для части людей характерно наличие одного из них — либо в первой, либо во второй половине дня).



Время, отводимое на каждую рабочую операцию, должно быть увеличено по сравнению с земными условиями на 30—40% во избежание возникновения дефицита времени, обусловленного невесомостью и повышенной эмоциональной напряженностью человека в космосе.

Кроме периодов сна и работы суточный распорядок на борту космического корабля должен предусматривать также свободное время. Продолжительность свободного времени космонавтов в длительном полете, по-видимому, будет превышать общую сумму запланированных интервалов, свободных от выполнения профессиональных обязанностей. Эберхард (Eberhard, 1969) считает, что свободное время в длительных полетах будет складываться из периодов, предписанных режимом, регламентирующим жизнедеятельность космонавтов; времени, освобождающегося за счет почему-либо не выполненных операций; резервного времени, предназначенного на случай каких-либо неполадок, возникающих в ходе полета,— в том случае, когда полет проходит без осложнений.

В современных полетах свободного времени у космонавтов остается очень мало вследствие чрезвычайной насыщенности полетных программ рабочими операциями и научными исследованиями. Однако по данным Эберхарда (Eberhard, 1969), в будущих межпланетных полетах свободное время может оказаться не только недостаточным, но скорее избыточным по сравнению с тем, которое необходимо человеку для сохранения психического здоровья. По его расчетам, средняя рабочая нагрузка одного члена экипажа корабля, летящего по маршруту «Земля—Венера—Марс—Земля», на трассах полета к этим планетам составит 4 часа в сутки, а потенциальное свободное время в подобных полетах может достигать 12 час. в сутки. Этот же автор полагает, что целиком занять людей выполнением профессиональных обязанностей в длительных космических полетах с целью профилактики монотонности и скуки, по-видимому, не удастся. Следовательно, в длительных космических полетах проблема свободного времени приобретает весьма серьезное значение.

Главным при решении задачи использования свободного времени должно быть возможно более полное исключение какой бы то ни было стихийности. Там, где есть промежутки времени, заполнение которых заранее не предусмотрено, возникает реальная угроза негативных эмоциональных переживаний. Свободное время космонавты должны проводить по заранее составленной программе. Эта программа должна обязательно учитывать личные интересы и вкусы космонавтов. Важность одобрения потребителем плана дискреционной (т. е. выполняемой по собственному усмотрению) активности подчеркивает Эберхард (Eberhard, 1969). Американские космонавты, пишет он, имели возможность оценить предложенные им виды занятий в свободные часы, составить перечень этих занятий применительно к полету и указать набор необходимого оборудования. «Это, однако, не означает, что все виды деятельности, выбранные всеми членами экипажа, следует включить в число дискреционных деятельностей. Необходимо тщательно сортировать их и отбрасывать те, которые могли бы создать психологические и социальные проблемы для остальных членов экипажа» (Eberhard, 1969, стр. 4).

При использовании свободного времени важно иметь в виду необходимость периодического уединения, для чего на корабле следует предусмотреть для каждого члена экипажа отдельную каюту. Опыт арктических и

антарктических зимовок свидетельствует, что это действительно нужно. По мнению Д. Скотта (1959), одного из участников экспедиции на ледниковый щит в Гренландии, в какой-то мере удовлетворяет потребность в уединении дневник.

Какие же занятия можно предложить космонавтам для заполнения свободного времени в длительном космическом полете?

Безусловно, следует обеспечить потребность заполнять свободные часы деятельностью по самообразованию, повышению квалификации (например, изучению иностранных языков, истории, теории искусства и др.), в том числе и общение с целью обмена информацией — чтение лекций или консультативные беседы (Eberhard, 1969). «Использование свободного времени для творческого отдыха и самообразования, безусловно, облегчило бы сохранение длительной жизнеспособности экипажа»,— считают авторы книги «Человек в длительном космическом полете» (1974 г., стр. 229).

Из числа видов досуга, упомянутых в классификации бюджета времени городских рабочих нашей страны (Гордон, Клопов, 1972), для использования в космическом полете можно избрать следующие: общение с целью отдыха и развлечения (игры, беседы на личные темы); индивидуальное потребление культуры (прослушивание музыки, чтение журналов, художественной литературы); публично-зрелищное потребление культуры (просмотр кинофильмов, телевизора); непрофессиональное творчество (художественное творчество любого вида); занятия физической культурой.

Приступая к анализу конкретных особенностей того или иного вида досуга применительно к космическому полету, необходимо определить подход к проблеме связи экипажа космического корабля с Землей.

С увеличением продолжительности космического полета связь с Землей должна сокращаться и постепенно утрачивать интимный характер. Не исключено, что по мере продолжения полета положительная реакция на сеансы радиосвязи с близкими может измениться на отрицательную — радость от общения с ними сменится тяжелым переживанием реакции отрыва.

Ниже рассматриваются различные формы организации досуга.

Опыт длительного пребывания в изоляции малочисленных групп людей позволяет сформулировать следующее правило: наибольший эффект объединения членов небольшого коллектива в условиях длительной изоляции обеспечивается их разъединением. Это разъединение предполагает: 1) возможно более полное разделение профессиональных и бытовых обязанностей в коллективе; 2) ограничение речевого общения. Известно, как утомляет излишняя разговорчивость даже в условиях обычной жизни. В небольших же изолированных коллективах она становится фактически непереносимой. Болтливые люди раздражают потому, что они очень скоро теряют информативность. У людей, которые впервые сталкиваются, появляется желание поближе узнать друг друга, т. е. возникает взаимный интерес — одна из самых положительных эмоций. В том же случае, когда из-за излишней разговорчивости члены коллектива очень скоро узнают друг о друге все, что только можно узнать, интерес их друг к другу ослабевает, а затем и полностью исчезает. Частые повторения начинают раздражать, и в результате группа оказывается в условиях, чреватых возможностью возникновения конфликтных отношений.



Однако это не означает, что члены небольшого коллектива должны всегда, при любых обстоятельствах «играть в молчанку». Вовсе нет. По-видимому, в определенных ситуациях обсуждение некоторых личных проблем может быть полезным и даже необходимым. Такое обсуждение, помимо общей эмоциональной разрядки, может способствовать снижению или даже полному подавлению страха и депрессии (Eberhard, 1969). Но чаще всего многие интимные желания, негативные переживания, всегда весьма индивидуальные по своему содержанию, имеющие, как правило, сугубо личностную значимость, тщательно оберегаются от постороннего внимания, а если и становятся объектом обсуждения в минуту внезапного откровения, не утрачивают от этого своей остроты, а будучи обнародованными, ставят их носителя в некоторую, чаще всего тягостную зависимость от его партнеров. Для разрядки такого рода переживаний незаменимым средством служит дневник. Не нарушая секрета интимных переживаний, дневник в то же время удовлетворяет естественное стремление человека поделиться с кем-нибудь этими переживаниями. Дневник, однако, выполняет и другую важную роль. Он, как уже было отмечено выше, реализует потребность человека в уединении. Наконец, в условиях малого коллектива дневник является средством разрядки эмоционального напряжения. Именно поэтому представляется весьма целесообразным определенное количество свободного времени посвящать заполнению дневников.

Что касается игр, то, безусловно, следует предусмотреть возможность коллективных игр (шашки, шахматы, домино), но из соображений ограничения общения необходимо уделить серьезное внимание так называемой луддистической деятельности — играм без партнера, соревнованию с самим собой (решение кроссвордов, ребусов, шахматных этюдов). Луддизм предназначен нарушить скуку (Кузнецов, Лебедев, 1972).

Использование музыки в качестве средства досуга является весьма перспективным. По-видимому, слушать музыку лучше в одиночестве, так как вследствие разницы вкусов одна и та же музыка одним доставляет удовольствие, а другим неприятна. Выбор музыкальных произведений должен диктоваться пожеланиями космонавтов, однако при этом нужно иметь в виду, что в изоляции, а тем более в условиях, сопряженных с постоянной опасностью, отношение к музыке с течением времени может измениться. Это отмечал в своем дневнике один из участников наших экспериментов, пробывший в изоляции 45 суток, об этом писал и М. Сифр (1966): «...в последние дни пребывания под землей я перестал воспринимать гармоничность музыки» (стр. 98). Изменение отношения к музыке иногда заключается не в утрате чувства прекрасного в процессе ее восприятия, а в перемене первоначального отношения к тому или иному музыкальному жанру. Ж. Кусто и Д. Даген (1966), описывая 7-суточное пребывание двух акванавтов под водой в камере под давлением в 2 избыточных атмосферы, сообщают, что психическое состояние этих исследователей с течением времени менялось. В частности, прекратилось слушание популярной музыки, поступил запрос на пластинки с классической музыкой, «...и с этой минуты до конца опыта в камере звучали одни симфонии и камерная музыка» (стр. 406). Из этих соображений целесообразно комплектовать бортовую музыкальную фонотеку произведениями разнообразных жанров и обязательно включать в нее симфонические и камер-

ные произведения, даже если перед полетом космонавты не изъявляют желания прослушивать их в полете. Учитывая отмеченное Ю. А. Гагариным и В. И. Лебедевым (1971) закономерное обострение в условиях изоляции и сенсорного голода эмоциональной реакции на хорошо известные и любимые музыкальные произведения, можно рекомендовать включать в бортовую фонотеку не знакомую космонавтам музыку.

Чтение художественной литературы должно занимать серьезное место в заполнении досуга космонавтов. Основываясь на данных, полученных в результате опроса космонавтов и изучения специальной литературы, Г. М. Зараковский и С. Л. Рысакова (1972) рекомендуют для включения в «космическую библиотеку» остросюжетные детективы, фантастические повести, историко-биографические романы, психологические романы, повести на современные темы, юмористические рассказы. Они подчеркивают, что подбор конкретных произведений должен осуществляться с учетом пожеланий космонавтов, преломляться «через призму их личности». По нашему опыту, активный интерес у людей в изоляции пробуждают книги, описывающие мореплавателей-одиночек, робинзонады, зимовки в Арктике и Антарктиде, эксперименты с изоляцией людей в пещерах, сурдокамерах, с анализом душевного и физического состояния героев, дающим обильную пищу для сравнения с собственными переживаниями.

Необходимо включить в программу проведения свободного времени космонавтов индивидуальное творчество и дать им все необходимое для этого: материал и орудия для лепки, рисования, изготовления различных моделей, игрушек и даже для литературного творчества — именно такие склонности, подчас совершенно неожиданные для самих себя и для экспериментов, обнаруживали испытуемые в опытах, описанных О. Н. Кузнецовым и В. И. Лебедевым (1972). Участник одного из наших экспериментов, находясь в изоляции, также испытывал потребность в подобных занятиях, о чем свидетельствует его запись в дневнике: «Весь день читать трудно. Надо бы что-то предложить для рук (какое-нибудь рукоделие, может, что-то вырезать, клеить, собирать или разбирать; может быть, даже вязать?)»

Можно предложить космонавтам — участникам длительных полетов занятия художественной самодеятельностью.

Следует рекомендовать космонавтам в свободное время занятия физической культурой и спортом. Применительно к условиям длительного космического полета виды спорта можно адаптировать или придумать специальные (Eberhard, 1969).

С целью занять членов экипажа активным, приносящим реальную пользу делом, американские специалисты предлагают разработать «...ряд практически полезных задач типа монтажа во время полета более просторной кабины из элементов, заготовленных на Земле. Монтажные работы в открытом космосе могли бы оказать роль мобилизующего фактора и занять «свободное время» членов экипажа на протяжении большей части полетного периода» («Человек в длительном космическом полете», 1974 г., стр. 229).

Практически полезным делом, направленным на повышение надежности выполнения программы космического полета, может стать также обучение членов экипажа смежной профессии, которая давала бы возможность расширить круг научных исследований в ходе полета. Многопрофильная подготовка членов экипажей межпланетных кораблей позволит сократить число членов экипажей и тем самым увеличить занятость каждого из них и, следовательно, уменьшить резерв свободного времени (Eberhard, 1969). Такую подготовку можно продолжать и в ходе полета. Необходимо обратить внимание на то, что уровень профессиональной подготовки в области какой-либо дисциплины (медицины, астрофизики и др.) у разных членов экипажа должен быть неодинаковым. Например, помощник врача должен иметь среднее медицинское образование (это может быть биолог с высшим образованием). Наличие на борту корабля двух или более членов экипажа — специалистов в одной области, имеющих одинаковую квалификацию, является предпосылкой к возникновению конфликтов на почве оспаривания преимущественного права на выполнение той или иной работы.



Одним из возможных путей решения проблемы свободного времени в космосе является отбор для участия в длительных космических полетах таких лиц, которые относятся к категории интероцентриков преимущественно интеллектуального профиля, т. е. людей, склонных надолго погружаться в собственные размышления, имеющих богатый внутренний мир и не нуждающихся в обществе. Есть основания полагать, что люди такого типа лучше перенесут изоляцию, монотонность, сумеют организовать свою деятельность в свободное время, используя ограниченные возможности, предоставляемые человеку в космическом полете.

Таковы те соображения, которые касаются организации свободного времени в космосе.

Продолжительность однократного ежесуточного отдыха должна составлять не менее двух часов. Кроме того, в программе полета следует предусмотреть не менее одного выходного дня в течение недели. В случае необходимости количество выходных дней может быть увеличено.

Таким образом, в течение суток космонавты должны иметь 7—8 час. сна и 2 часа отдыха. Однако такая схема не является единственной из числа рекомендуемых к использованию в необычных, в том числе и стрессовых ситуациях. В. В. Борискин (1967, 1968) сообщает, что сотрудники арктических и антарктических станций в период полярной ночи предпочитают использовать режим сна, предусматривающий его разделение на два периода: «ночной» (6 час.) и «дневной» (2 часа) сон после обеда. При составлении программ длительных космических полетов обе эти схемы должны быть предусмотрены, причем одна из них — в качестве запасного варианта.

Применительно к ближайшим полетам околоземных орбитальных станций следует специально сформулировать ряд дополнительных рекомендаций.

В связи с возможностью ухудшения состояния космонавтов в первые 4—5 суток пребывания на станции и падения работоспособности рабочую программу в этот период целесообразно свести к необходимому минимуму, предоставив экипажу право работать в любые удобные часы, кроме периода предписанного сна. Переносить какие бы то ни было работы на период, отведенный по программе для сна, не разрешается. Отдых и сон допускаются в любое время. По желанию космонавтов в первые 4—5 суток полета им должны предоставляться дни полного отдыха. В дальней-

шем по мере улучшения самочувствия космонавты должны возвращаться к запланированному распорядку сна — бодрствования, отказываясь от сна в часы, отведенные программой для работы; следует также планировать постепенное увеличение ежедневной рабочей нагрузки. При этом целесообразно заранее выделить в программе первоочередные, обязательные задания, выполнение других элементов программы допустить во вторую очередь, какие-то задачи считать дополнительными, необязательными. Это поможет космонавтам самостоятельно определять оптимальную продолжительность своего рабочего дня, основываясь на самочувствии.

Использование для работы выходных дней можно допускать только при наличии положительного отношения к этому космонавтов.

Увеличение продолжительности рабочего дня в связи с производственной необходимостью должно в последующие сутки компенсироваться соответствующим по времени сокращением его и увеличением длительности сна и отдыха.

К числу мероприятий, обеспечивающих устойчивость циркадианной системы организма, а отсюда и высокую работоспособность, относятся далее:

1. Организация на борту объекта системы датчиков времени, синхронной с используемым ритмом жизни. В число физических датчиков времени можно включить колебания температуры и влажности воздуха в кабине, соответствующие периодам сна и бодрствования космонавтов. Представляется перспективным использование световых, звуковых и других раздражителей (в частности, цветомузыкальных композиций), которые после неоднократных сочетаний с определенными элементами режима труда и отдыха (физические упражнения, отдых, прием пищи) по механизму условного рефлекса приобрели бы значение физических синхронизаторов. Очень интересным с этой точки зрения является предложение Л. Н. Мельникова (1972) имитировать в кабине космического корабля суточную и сезонную периодику некоторых элементов природной среды. К социальным датчикам времени на борту корабля относятся: режим труда и отдыха, показания часов, сеансы радио- и телесвязи. Сочетание физических и социальных датчиков времени может быть обеспечено демонстрацией специально подобранных киносюжетов, в которых на фоне суточного ритма природной среды развертываются социальные события, также связанные с суточным ритмом жизни человеческого коллектива.

2. Биоритмологическая подготовка космонавтов, направленная на:

а) воспитание установки на необходимость быстрейшего и эффективного приспособления к заданному ритму сна — бодрствования (разумеется, в тех случаях, когда заданный ритм сна — бодрствования является приемлемым по своим параметрам). Ведущей причиной сокращения сроков адаптации к новым ритмам жизни человека А. Н. Лицов (1969) считает целенаправленное приспособление к новому режиму, обусловленное заинтересованностью в успешности адаптации;

б) уяснение космонавтами значения предельно точного выполнения режима труда и отдыха. В космическом полете, где привычные физические датчики времени, в том числе наиболее важный из них — чередование солнечного света и темноты с 24-часовым периодом, будут отсутствовать, основным средством перестройки и поддержания суточных ритмов



жизненных функций станет режим труда и отдыха. При разработке системы профилактики десинхроноза необходимо учитывать требование предельной точности выполнения принятого суточного ритма сна и бодрствования. Это важно потому, что до сих пор еще существует мнение, согласно которому свободный, ничем не регламентированный распорядок суток есть лучшее решение задачи втягивания человека в новый для него режим труда и отдыха. Ашофф (Aschoff, 1974) специально подчеркивал, что использование свободно текущего, т. е. ничем не регламентированного ритма сна — бодрствования на космических кораблях, является нежелательным. Он писал: «...в полете нежелательно наличие таких условий, в которых циркадианная ритмика астронавта была бы свободно текущей. Кроме осложнений, вызванных возможной десинхронизацией ритмов между членами экипажа.., имеющими различный распорядок сна — бодрствования, свободно текущая циркадианная система с нарушенной внутренней взаимосвязью фаз ... и с предрасположением к внутренней десинхронизации ... находится, по-видимому, в худшем положении с точки зрения физиологии, чем управляемая система» (стр. 278), и далее: «...различные функции представляют, по-видимому, различные циркадианные осцилляторы, которые в нормальных условиях согласуются друг с другом, но могут внутренне десинхронизироваться в условиях свободно текущих ритмов» (стр. 281).

Строгое выполнение предписанного режима труда и отдыха предполагает прежде всего преодоление импульсов ко сну или дремоте в период бодрствования. Известно, что даже самые короткие периоды сна или дремоты во время бодрствования могут нарушать последующий обязательный сон.

3. Если в космосе возникает необходимость сдвига сна к непривычным часам суток, космонавты должны быть предварительно адаптированы к такому режиму жизни. Такая адаптация может быть реализована путем переезда в соответствующий часовой пояс или в период пребывания в специальных комфортабельных помещениях, обеспечивающих изоляцию от физического и социального окружения.

В том же направлении, по-видимому, будет действовать и так называемая прививка нового ритма сна — бодрствования, т. е. предварительное многократное и сравнительно непродолжительное использование нового режима труда и отдыха до окончательного перехода к нему на длительный срок. За несколько дней до старта корабля «Союз-14» космонавтам было предписано по три часа спать днем, так как программа полета предусматривала ночной старт и обусловленное этим нарушение привычного ритма сна — бодрствования — работу в ночные и сон в дневные часы по московскому времени. Таким образом, в процессе подготовки к этому полету была предпринята попытка заранее подготовить космонавтов к ожидающему их изменению распорядка сна — бодрствования. Такое изменение действительно наблюдалось в первые и вторые сутки пребывания экипажа корабля «Союз-14» в космосе. Эберхард (Eberhard, 1966) указывал на необходимость проведения с кандидатами в космонавты тренировок с использованием различных циклов работа — отдых. Такие тренировки, по-видимому, лучше всего проводить, используя бортовую систему датчиков времени и средства ее подкрепления, о которых говорилось выше.

Анализ данных, полученных в полетах кораблей «Союз», позволяет составить представление о специфике современных орбитальных полетов и, в частности, о режиме труда и отдыха космонавтов в таких полетах. Режим труда и отдыха космонавтов в орбитальных полетах на современном этапе развития космонавтики оказывается несогласованным с естественным ритмом сна — бодрствования. Однократные сдвиги фазы и последующая ее миграция являются главными формами проявления такого рассогласования. Следовательно, к влиянию столь мощного стрессора, каким является невесомость, присоединяется негативное влияние нарушений суточного ритма жизни космонавтов, сопровождающееся различными нарушениями слаженности циркадианной системы их организма.

Рабочая деятельность членов экипажей кораблей «Союз» характеризуется исключительной сложностью по составу входящих в нее различных видов работ, а также по психологической структуре многих операций и прежде всего — операций по выполнению маневров корабля. Выполнение профессиональных (как, впрочем, и всех остальных) операций осложняется жестким временны́м лимитом и периодически возникающим дефицитом времени.

Невесомость, нарушения суточной ритмики сна — бодрствования, напряженная профессиональная деятельность, сложная по своему составу и психологической структуре, жесткий лимит и дефицит времени, повышенная эмоциональная напряженность и другие, пока еще неизбежные особенности орбитальных полетов, являются факторами, вызывающими повышенный расход нервно-психической энергии космонавтов, а отсюда и интенсификацию процесса снижения их работоспособности. Именно поэтому проблема поддержания высокой и устойчивой работоспособности космонавтов в ходе полета является исключительно актуальной. В рамках этой проблемы на первом месте стоит вопрос о рациональной организации распорядка жизни человека в космосе, и прежде всего — об основных принципах такой организации.

Сейчас уже можно утверждать, что организация рационального распорядка жизни человека в космосе возможна только в том случае, если в ее основу положен принцип ритма.

Для человека как ритмически колеблющейся биологической системы любой распорядок жизни, не подчиненный принципу ритма, неприемлем.

Утверждение принципа ритма в качестве ведущего при построении режимов труда и отдыха космонавтов ни в какой мере не снижает значения и многих других принципов регламентации жизни человека в космосе. Среди них особенно следует подчеркнуть важность организации сна. Однако усилия, направленные на организацию сна, полностью оправдывают себя лишь при учете закономерностей организма как ритмически колеблющейся системы. Нарушение этих закономерностей неизбежно приводит к развитию десинхроноза, выражающегося в нарушениях сна, работоспособности, пищеварения, в невротических симптомах и т. д. Именно поэтому внимание к суточной ритмике организма есть одно из обязательных условий хорошей организации всего космического полета. «Проведение исследований,— пишут Хальберг и соавт. (Halberg et al., 1970) по установлению точных циркадианных и других параметров в наземных условиях остается первоочередной обязательной задачей; при наличии такой фоновой информации включение в программу космических исследований Соединенных Штатов длительного изучения ритмов организмов, помещенных на земные, лунные и солнечные орбиты, остается основным требованием. Эти исследования, кроме того, послужат плодородной почвой для международного сотрудничества, равно как и изучение феноменов, прямо относящихся к работоспособности человека и его устойчивости» (стр. 31). Представители Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США и другие ученые высказали точку зрения, согласно которой из всех медико-биологических проблем, связанных с освоением космоса, наибольшую важность представляет изучение действия невесомости и нарушения земной суточной периодичности процессов жизнедеятельности человека (Space World, 1970). Ашофф (Aschoff, 1974), несомненно, прав, когда утверждает, что в пилотируемых космических полетах было бы безответственно не принимать в расчет циркадианную ритмику организма и ее воздействие на все физиологические функции человека, включая и работоспособность.



В настоящее время можно утверждать, что любое продвижение по пути изучения биоритмов человека непосредственно служит делу освоения космоса. Материалы, полученные в полетах кораблей «Союз», подтверждают это положение.

# Часть II. ОСОБЕННОСТИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ФАКТОРАМИ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

## Глава 8. МЕДИЦИНСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ

### ОБЩЕЕ КЛИНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ КОСМОНАВТОВ

Медицинское обеспечение длительных космических полетов предусматривает сохранение здоровья и работоспособности членов экипажей во время экспедиции. В этой связи большую значимость приобретает изучение клинической феноменологии реакций человека при воздействии факторов полета.

Проведенное нами на месте приземления корабля и в первые сутки после полета клиническое обследование космонавтов выявило следующее.

После посадки космонавты жаловались на общую мышечную слабость. Выраженность ее зависела от продолжительности полета. Так, после 2-суточного полета ее практически не было, после 5-суточного — она была незначительной, после 8-суточного — умеренной и после 18-суточного полета — наиболее выраженной. У космонавтов, совершивших полет продолжительностью до восьми суток, чувство мышечной слабости проходило через несколько часов, у членов корабля «Союз-9» оно держалось в течение нескольких суток. У них же в первые сутки появились ноющие, усиливающиеся при ходьбе, боли в икроножных мышцах и разгибателях бедер. На вторые сутки появилась такого же характера боль в поясничной области, а боли в мышцах ног в связи с расширением двигательного режима значительно усилились. В вечернее время отмечалось также повышение температуры тела до субфебрильных цифр. Походка была неуверенной, для сохранения вертикальной позы требовались значительные усилия. Все это напоминало состояние после тяжелого физического перенапряжения мышц и требовало проведения специальных лечебных мероприятий. Чувство слабости в мышцах всего тела исчезало через трое суток, а болевые ощущения в задней группе мышц бедер и мышц поясничной области беспокоили на протяжении восьми суток.

У некоторых космонавтов наблюдалась одутловатость лица, гиперемия видимых слизистых и зева, покраснение склер глаз и незначительное набухание вен шеи. Кожные покровы у всех космонавтов были бледные, а у членов экипажа «Союз-9» отмечалась выраженная бледность, которая усиливалась при принятии космонавтами вертикального положения. В области предплечий от сдавления ремнями привязной системы у всех космонавтов имелись петехиальные кровоизлияния. В местах аппликации



ЭКГ электродов отмечено раздражение кожи в виде легкой или выраженной гиперемии с наличием мелких пузырьков, наполненных серозной жидкостью.

У космонавтов, выполнивших полет продолжительностью не более пяти суток, пальпаторно тонус мышц верхних конечностей практически не менялся, нижних был умеренно снижен. После 8-суточного полета снижение тонуса мышц нижних конечностей было уже более выраженным. Пальпация икроножных мышц в течение трех суток после полета вызывала умеренно болезненные ощущения.

При осмотре космонавтов сразу после посадки дыхание было свободным, но несколько учащенным. При физикальном исследовании сердца и легких отклонений от нормы не было. Пульс был лабилен с наклонностью к тахикардии при физических и эмоциональных нагрузках. Температура тела была несколько повышенной (37,2—37,6°).

Артериальное давление имело тенденцию к повышению, особенно диастолическое. Так, через 1,5—2 часа после посадки максимальное артериальное давление у космонавтов было в пределах 110—145 мм рт. ст., а минимальное — 70—95 мм рт. ст. У космонавтов с наклонностью к гипертензивным реакциям до полета эта тенденция сохранилась и после полета.

Необходимо отметить, что изменения частоты пульса и артериального давления после полета были непродолжительными, как правило, уже на вторые сутки не отличались от предполетных. После 18-суточного полета на месте посадки у обоих космонавтов наблюдалась выраженная тахикардия до 120 ударов/мин, ритм и наполнение пульса зависели от фаз дыхания. Максимальное артериальное давление у А. Г. Николаева было 140 мм рт. ст., у В. И. Севастьянова — 135 мм рт. ст. Частота пульса в состоянии покоя после сна была несколько ниже обычных цифр, свойственных космонавтам до полета. В течение дня отмечалась выраженная лабильность пульса с наклонностью к тахикардии (табл. 36).

По данным исследований гемодинамики, которые проводились обычно на второй день после посадки, сердечный выброс после кратковременных полетов возрастал, преимущественно за счет частоты пульса, а ударный объем крови практически не изменялся. Основной обмен оставался повышенным, как правило, в течение четырех суток после приземления.

Функциональные исследования кардио-респираторной системы при физических и гравитационных нагрузках не выявили отклонений от физиологической нормы, но указывали на некоторое снижение ее адаптационной способности. После 8-суточного полета восстановление ортостатической устойчивости у обоих космонавтов наступило через трое суток. После 18-суточного полета восстановление носило волнообразный характер и продолжалось более длительное время.

Данные физикального обследования органов пищеварения, кроме обложенности языка у некоторых космонавтов, не указывали на какие-либо изменения по сравнению с предполетными данными. Однако исследования пищеварительных ферментов слюны, крови, мочи и кала у членов экипажей космических кораблей «Союз-9», «Союз-12» и «Союз-13» свидетельствовали об изменении их активности, что, по-видимому, указывало на некоторые нарушения функции пищеварения.

Таблица 36. **Особенности физиологических показателей у А. Г. Николаева (Н) и В. И. Севастьянова (С) после полета**

| Ощущения и клинические проявления | На месте посадки | | После полета через | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1,5 часа | | 14 час. | | 2 суток | | 3 суток | | 4 суток | |
| | Н | С | Н | С | Н | С | Н | С | Н | С | Н | С |
| Ощущение повышенной весомости | +++ | +++ | +++ | +++ | ++ | ++ | + | + | + | + | + | + |
| Общая усталость | +++ | +++ | +++ | +++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | + | + |
| Утомляемость | +++ | +++ | +++ | +++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + |
| Жажда | — | + | — | + | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Температура тела | 37,2 | 37,6 | 37,0 | 36,8 | — | — | 36,3 | 36,7 | — | — | — | — |
| Бледность кожных покровов | +++ | +++ | +++ | +++ | ++ | ++ | + | + | + | + | — | — |
| Отечность век | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | + | + | — | — | — | — |
| Инъецированность склер | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | — | — | — | — | — | — |
| Гиперемия зева | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | + | + | — | — | — | — |
| Сердцебиение | + | + | + | + | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Частота пульса в покое | 120 | 120 | 90 | 96 | 72 | 66 | 80 | 76 | 62 | 70 | 65 | 62 |
| Артериальное давление | 140/0 | 135/0 | 130/90 | 125/90 | 150/105 | 120/85 | 140/98 | 120/90 | 130/85 | 130/80 | 140/80 | 130/75 |
| Обложенность языка | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | + | + |

Примечание. (+++) — выраженные изменения; (++) — умеренные, (+) — незначительные; (—) — изменения отсутствовали.



Дизурических явлений и изменений органов мочеполовой системы у космонавтов не наблюдалось. Данные исследования мочи, проведенные в первые сутки после завершения полета, указывали на наличие следов белка, единичных свежих и измененных эритроцитов и гиалиновых цилиндров у некоторых космонавтов. Эти изменения, по-видимому, объясняются застойными явлениями в почках, обусловленными невесомостью и воздействием перегрузок во время спуска. Наличие свежих единичных эритроцитов, а также оксалатов и уратов в моче у членов экипажа «Союз-9» наблюдалось в течение 5—7 суток после полета. При этом при обычных врачебных осмотрах в эти дни каких-либо почечных симптомов не было.

## СОСТАВ ТЕЛА И НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Исследование некоторых показателей состава тела и мышечной системы проводилось до и после выполнения космонавтами космических полетов на кораблях «Союз». Показатели веса тела получены при взвешивании на медицинских весах с точностью ±50,0 г, а его составляющие компоненты — из расчета удельного веса тела (табл. 37). При помощи калипера определялась средняя величина кожно-жировой складки. Для анализа состояния мышечной системы использовались показатели мышечной силы (динамометрии), замеры периметра конечностей и данные об упругости мышц.

Оказалось, что после выполнения космических полетов у всех космонавтов наблюдалось снижение веса тела на 0,5—4,1 кг. Следует отметить,

Таблица 37. **Изменение веса тела (в кг) у членов экипажей кораблей «Союз» за время космического полета**

| Корабль | Продолжительность полета, сутки | Члены экипажей | До полета | После полета | Дефицит веса, % | Корабль | Продолжительность полета, сутки | Члены экипажей | До полета | После полета | Дефицит веса, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| «Союз-3» | 4 | I | 80,5 | 78,3 | 2,73 | «Союз-8» | 5 | I | 78,8 | 76,5 | 2,85 |
| «Союз-4» | 3 | I | 77,7 | 73,6 | 5,34 | | | II | 79,1 | 75,5 | 4,55 |
| «Союз-5» | 3 | I | 77,1 | 75,6 | 1,94 | «Союз-9» | 18 | I | 65,0 | 62,3 | 4,16 |
| | | II | 78,0 | 77,5 | 0,64 | | | II | 68,5 | 64,5 | 5,68 |
| | | III | 70,0 | 69,1 | 1,28 | «Союз-10» | 2 | I | 80,0 | 78,5 | 1,87 |
| «Союз-6» | 5 | I | 77,0 | 74,5 | 3,24 | | | II | 82,0 | 78,7 | 3,96 |
| | | II | 73,2 | 71,1 | 2,87 | | | III | 71,0 | 68,0 | 4,22 |
| «Союз-7» | 5 | I | 77,3 | 73,5 | 4,91 | «Союз-12» | 2 | I | 76,5 | 73,7 | 3,66 |
| | | II | 80,4 | 78,0 | 2,98 | | | II | 67,5 | 65,8 | 2,51 |
| | | III | 71,0 | 69,0 | 2,81 | «Союз-13» | 8 | I | 70,5 | 66,5 | 5,67 |
| | | | | | | | | II | 76,5 | 73,9 | 3,4 |

Примечание. I — командир корабля, II — бортинженер, III — инженер-исследователь.

что четкой зависимости величины уменьшения веса тела от длительности полета не выявилось, хотя в большинстве случаев после кратковременных полетов снижение веса тела было меньше, чем после более продолжительных.

Восстановление веса тела в послеполетном периоде после кратковременных полетов происходило быстрее, чем после полетов большей продолжительности. Если на вторые сутки после 5-суточного полета восстановление веса тела произошло на 64,9%, то за этот же срок после 8- и 18-суточных полетов восстановление имеющегося дефицита веса тела составляло соответственно 57,7 и 45,9%.

При гидростатистическом методе исследования на вторые сутки после окончания 8- и 18-суточных полетов было установлено уменьшение плотности тела.

Величина кожно-жировой складки после полетов также уменьшалась.

Снижение удельного веса тела, по мнению многих авторов, наблюдается в тех случаях, когда происходит перестройка обменных процессов, сопровождающаяся уменьшением метаболически активной мышечной массы и увеличением жировой ткани.

В наших исследованиях уменьшение плотности тела космонавтов после 8- и 18-суточных полетов сопровождалось уменьшением слоя подкожного жира.

Отмеченное у космонавтов после продолжительных полетов более высокое, чем до полетов, выделение азота, снижение плотности тела можно рассматривать как результат возникающих структурных изменений мышечной ткани.

Уменьшение общей массы и снижение плотности тела, сопровождающееся уменьшением жировой массы в подкожной клетчатке у космонавтов после 8- и 18-суточных полетов, указывает не только на изменение соотношения составных компонентов веса, но и на превалирование в тканях катаболических процессов.

На развитие структурно-морфологических изменений в мышечной ткани указывает и уменьшение периметров бедра и голени.

Величина периметра плеча оставалась без изменений.

При проведении сейсмотонометрии двухглавой мышцы плеча и четырехглавой мышцы бедра по методу В. Л. Федорова и Г. В. Васюкова отмечено снижение упругости обеих мышц, с некоторым преобладанием указанных изменений в мышце бедра.

Упругость мышц коррелирует с показателями мышечного тонуса и отражает функциональное состояние мышц. Мышечный тонус бедра и голени у космонавтов А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова после 18-суточного полета был снижен.

Таким образом, снижение упругости и тонического напряжения мышц свидетельствует о развивающихся в них структурно-морфологических изменениях.

Происходящие в результате полетов изменения мышечной системы касаются главным образом мышц спины и нижних конечностей, т. е. тех мышечных групп, на которые в условиях невесомости приходилась меньшая нагрузка.



## ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ

Опыт первых полетов показал, что функциональное состояние зрительного анализатора в космосе остается вполне удовлетворительным, обеспечивая успешное выполнение полетных программ.

Однако послеполетные отчеты космонавтов все же свидетельствуют об определенных функциональных и морфологических сдвигах со стороны органа зрения.

Многие космонавты, в частности, указывали на развивающееся утомление глаз в полете, чему способствовали значительная нагрузка при работе с документацией и некоторой аппаратурой, общее утомление и недостаточное освещение рабочего места.

В полете возникали также ощущения так называемых «световых вспышек», порождаемых воздействием на сетчатку частиц высоких энергий космического излучения. Феномен «световых вспышек» в орбитальных полетах зарегистрирован космонавтами Н. Н. Рукавишниковым, О. Г. Макаровым и В. В. Лебедевым. Последний наблюдал более десятка «вспышек». Он также указал на существование двух разновидностей этих ощущений: в виде «взрывающихся точек» и в виде «кривых линий» или «молний». Ощущения «световых вспышек» к заметным изменениям со стороны органа зрения не привели.

Наиболее характерным морфологическим сдвигом в полете явилась развивающаяся на фоне общей одутловатости лица отечность век, очевидно, за счет перераспределения жидких сред в организме под воздействием невесомости.

У некоторых космонавтов при этом отмечалось умеренно выраженное покраснение соединительной оболочки век и глазных яблок. Причинами гиперемии конъюнктивы являлись в ряде случаев попадание инородных тел в конъюнктивальный мешок (А. Г. Николаев, В. И. Севастьянов), солнечный ожог кожи лица, век и конъюнктивы первой степени (В. А. Шаталов), ушиб века и глазного яблока легкой степени (В. Н. Кубасов), общее утомление (В. В. Лебедев). Все эти случаи гиперемии конъюнктивы характеризовались резями в глазах, слезотечением и т. п. Покраснение же глаз вместе с развившимся отеком век не сопровождалось какими-либо неприятными субъективными ощущениями. У В. Г. Лазарева, О. Г. Макарова и П. И. Климука гиперемия конъюнктивы в полете, по их словам, не развивалась.

По-видимому, в происхождении гиперемии соединительных оболочек глаз в космическом полете повинны травмы, загрязнение глаз, утомление, а также общие гемодинамические нарушения в организме.

Гиперемия конъюнктивы, не связанная с травмой, самопроизвольно исчезала на 2—3-и сутки после приземления. В случаях травм после лечения через 3—4 дня наступало выздоровление.

Исследование органа зрения космонавтов в послеполетном периоде позволило установить некоторые функциональные и морфологические изменения. Те и другие были наиболее заметны в первые часы (или сутки) после приземления.

Функциональные сдвиги касались только остроты центрального зрения у отдельных космонавтов. Понижение остроты зрения было весьма незначительным — до 0,1 Д.

Пред- и послеполетное измерение внутриглазного давления и фотографирование сосудов глазного дна по общепринятым методикам впервые проводилось у членов экипажей кораблей «Союз-12, 13». Определенных выводов по данным о внутриглазном давлении сделать не представляется возможным.

При фотографировании глазного дна в первые часы после посадки отмечалось сужение артерий и расширение вен сетчатки. Это, очевидно, можно расценить как остаточные явления реакции сосудов глаза на увеличение притока крови к голове в условиях невесомости. Противоположные по направленности изменения на 2—4-е сутки после приземления, на наш взгляд, явились уже приспособительной реакцией сосудов к условиям земной гравитации.

## ОТОРИНОЛАРИНГОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ

Процесс адаптации к невесомости, по оценке космонавтов, сопровождался ощущением «прилива крови» к голове. Причем выраженность этого явления и продолжительность периода адаптации носили индивидуальный характер. В оториноларингологическом отношении этот феномен интересен тем, что перераспределение крови в невесомости может оказывать влияние на функцию ЛОР-органов. Так, у некоторых космонавтов ощущение «прилива крови» к голове сопровождалось заложенностью носа без признаков ринита (отсутствовали выделения из носа, чихание, головная боль и др.). Примечательно, что заложенность носа возникала и нарастала параллельно с ощущением «прилива крови» к голове; уменьшение этого ощущения сопровождалось у большинства и субъективным восстановлением носового дыхания. Так, многие космонавты четко указывали на исчезновение заложенности носа при положении тела в корабле относительно действия центробежных сил в направлении «голова — ноги». При этом уменьшалось и ощущение «прилива крови» к голове. Особо следует подчеркнуть, что у всех лиц с вазомоторными изменениями слизистой оболочки носа, по данным предполетного обследования, заложенность носа в полете была более выраженной и сохранялась длительнее.

После полета у В. И. Севастьянова сохранялись явления набухлости и синюшности носовых раковин. Внутриносовое сопротивление было повышено (до 18—22 мм), наблюдалась выраженная реакция сосудистой системы слизистой оболочки носа на смену положения тела по данным ортоклиностатической ринопневмометрии.

У А. Г. Николаева внутриносовое сопротивление после полета в покое и при ортоклиностатическом воздействии было в пределах физиологического разброса нормы.

Подавляющее большинство членов экипажей кораблей «Союз» во время орбитального полета отмечали значительную звуковую нагрузку на слуховой анализатор вследствие помех в системе радиообмена, а также от шума в отсеках корабля. Вместе с тем все сообщали о быстрой адаптации к шуму внутри объекта. Во время работы шум обычно не замечали, а во время сна шум от работающих приборов, вентиляторов и т. д. нередко вызывал неспокойный сон («Союз-10», «Союз-12» и др.).



Некоторые космонавты отмечали притупление обоняния и вкуса в полете. Изменения в деятельности этих анализаторов сохранялись и в первые сутки после приземления (В. И. Севастьянов, А. Г. Николаев).

Космонавт В. В. Лебедев отмечал заложенность и небольшую боль в ушах при спуске космического корабля. При отоскопическом обследовании после полета у него и еще у пяти космонавтов были отмечены небольшие реактивные изменения барабанных перепонок в виде гиперемии шрапнелиевой части барабанной перепонки, расширения сосудов по ходу рукоятки молоточка. Слух не был изменен. Указанные отоскопические изменения самостоятельно исчезали через сутки. По-видимому, эти изменения, так же как и боль в ушах у одного из космонавтов, были обусловлены реакцией на перепады барометрического давления во время спуска корабля и были связаны с недостаточностью бароаккомодационной функции.

У шести космонавтов с реакцией органов слуха на перепад давления при спуске корабля до полета были зарегистрированы небольшие вазомоторные изменения слизистой оболочки носа. Барофункция же ушей и придаточных пазух носа не была нарушена. Переносимость барокамерных испытаний была хорошей. По-видимому, гемодинамические сдвиги в условиях невесомости у этой категории лиц могут вызывать не только ощущения заложенности носа, но и изменять вентиляционную способность слуховой трубы, что может явиться причиной баротравмы ушей и развития бароотита. Подобные явления отмечались и у американских астронавтов. а у одного из членов экспедиции «Скайлэб» развился сальпингоотит (Berry, 1969, 1973).

У всех без исключения членов экипажей кораблей «Союз» при осмотре ЛОР-органов в первые часы после завершения полетов наблюдалась выраженная гиперемия слизистой оболочки носа, носоглотки, рото- и гортаноглотки, а у некоторых экипажей кораблей («Союз-7» и «Союз-12») — небольшая отечность язычка. У членов экипажей «Союз-12» и «Союз-13» отмечены мелкоточечные единичные кровоизлияния в слизистую носоглотки. Слизистая оболочка верхних дыхательных путей наряду с наличием гиперемии была суховатой. Слизистая оболочка десен и зубные сосочки казались разрыхленными и слегка кровоточили.

Эти изменения слизистых оболочек верхних дыхательных путей нельзя было отнести к воспалительным, так как они не сопровождались болевыми или неприятными ощущениями и самостоятельно исчезали, как правило, через трое суток после приземления. Реакции регионарных лимфатических узлов не было. Установить зависимость интенсивности и характера отмеченных изменений от продолжительности полета не удалось.

Реактивная гиперемия слизистых оболочек верхних дыхательных путей, возможно, имеет определенную связь с явлениями перераспределения крови в невесомости — повышенным кровонаполнением сосудов головы и верхней половины тела. Вместе с тем нельзя исключить и значения пылевых воздействий во время полета, что, несомненно, имеет определенную значимость и для развития сухости слизистой оболочки. Сухость, кроме того, безусловно, являлась и отражением общей обезвоженности организма.

Анализ самонаблюдений космонавтов, а также результатов экзо- и эндоскопии не выявил неблагоприятного влияния полета на состояние мин-

далин как у здоровых лиц, так и у космонавтов с компенсированными формами хронического тонзиллита. Вместе с тем данные исследования содержимого лакун миндалин у трех космонавтов свидетельствуют о возможности изменения иммунобиологических свойств их под влиянием факторов полета. По сравнению с результатами предполетного исследования совершенно отчетливо увеличилось общее число лейкоцитов и микробных клеток в поле зрения, возросло процентное содержание нейтрофилов и плазматических клеток, значительно уменьшилось процентное содержание лимфоцитов.

Было также обнаружено, что у космонавтов В. Г. Лазарева и О. Г. Макарова показатели содержимого миндалин через 10 дней после завершения полета пришли в соответствие с дополетными, в то время как у космонавта П. И. Климука, совершившего 8-суточный полет, эти же показатели за указанный срок к дополетному уровню не возвратились.

Анализ данных аудиологического обследования показал, что у здоровых лиц комплексное воздействие факторов кратковременных орбитальных полетов не нарушает деятельности слухового анализатора. При кохлеарном же неврите отмечалось повышение порогов слуха как при воздушном, так и костно-тканевом проведении в дискантовой зоне (2—8 кгц) на 10—15 дб. Другие показатели не изменялись. Пороги слуха восстанавливались через трое суток после полета.

Таким образом, комплексное воздействие факторов полета не вызвало патологических изменений в состоянии ЛОР-органов.

## НЕВРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ

Определенный интерес представляют некоторые реакции, наблюдаемые у космонавтов в период адаптации к условиям невесомости. У космонавтов Е. В. Хрунова, В. А. Шаталова, Н. Н. Рукавишникова, В. Г. Лазарева одновременно с ощущением прилива крови к голове было ощущение тяжести и боли в голове, преимущественно в лобной области.

У Н. Н. Рукавишникова на второй день в условиях невесомости после сна отмечалась потеря ощущения своих рук. Сон в первый день наступал быстро, но был беспокойным. После сна усталость снималась.

У В. И. Лебедева на четвертый день полета при радиопередаче возникли слуховые ощущения, отдаленно напоминающие галлюцинации в виде «знакомой музыкальной мелодии». После прекращения переговоров они исчезли. Подобное же ощущение той же мелодии повторилось при радиопередаче и на 5-й день.

После выхода из корабля почти у всех космонавтов наблюдалось некоторое нарушение походки, отмечалась тяжесть в ногах и неприятное чувство «ватных ног». В неврологическом статусе в первые два часа после приземления наблюдались у всех космонавтов нарушение регуляции вертикальной позы, у 12 человек из 21 с нарушением походки, неуверенность в позе Ромберга, у семи человек — тремор пальцев вытянутых рук. Отмечались некоторые нарушения в рефлекторной сфере: у трех человек повышение периостальных и сухожильных рефлексов, у четырех — снижение их, у пяти — угнетение брюшных рефлексов. Расстройств чувствительности не было.



Почти у всех космонавтов после полета отмечались явления астенизации и утомления. У восьми человек эти явления были особенно выражены и характеризовалось это учащением пульса, снижением ортостатической устойчивости, изменением сосудисто-вегетативных рефлексов Ашнера-Данини, резкой выраженностью и стойкостью дермографизма, бледностью кожных покровов и видимых слизистых, гипергидрозом, быстрой утомляемостью и общей слабостью.

Таким образом, в послеполетном периоде нами наблюдались следующие функциональные сдвиги: астенизация и утомление, сенсомоторные и стато-кинетические нарушения, вегетативно-сосудистая неустойчивость, атрофия мышц ног.

При полетах продолжительностью от двух до восьми суток указанные функциональные сдвиги носили кратковременный и полностью обратимый характер. Практически на вторые сутки изменений в неврологическом статусе не отмечалось. Более медленно сглаживались и исчезали явления астенизации.

Функциональные сдвиги, выявленные со стороны нервной системы после 18-суточного полета, по своей направленности существенно не отличались от изменений, наблюдаемых после кратковременных полетов, но были более выраженными и стойкими. В восстановительном периоде наиболее продолжительными были явления астенизации и вегетативно-сосудистой неустойчивости.

Таким образом, данные неврологического обследования и наблюдения за космонавтами, совершившими полеты разной продолжительности на кораблях «Союз», не выявили каких-либо органических поражений со стороны центральной нервной системы.

## ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ

Для проведения цитогенетического исследования у 12 членов экипажей кораблей «Союз», участвовавших в шести космических полетах, брали кровь из вены за две — три недели до полета и в первые сутки после полета и у троих из них — через три недели по окончании полета. Хромосомы изучали в культуре лейкоцитов периферической крови. Учитывали все наблюдавшиеся структурные аберрации хроматидного и хромосомного типа. В одном случае для исключения возможного явления мозаицизма было проведено кариотипирование с помощью фотографирования 15 метафазных пластинок с числом хромосом 44, 45; кроме того, изучали кариотип у всех космонавтов до полета в нормальных метафазных пластинках с числом хромосом 46. Хромосомы идентифицировали по Денверской классификации (Robinson, 1960), учитывая дополнения, предложенные на лондонской (1963) и чикагской (1966) конференциях по нормальному кариотипу. Статистическая обработка результатов проводилась по методу хи-квадрат и $t$-критерию Стьюдента. Количество анеуплоидных клеток (гипо- и гиперплоидных) у космонавтов до и после полетов не превышало нормы (Бочков, 1966), кроме одного случая, когда увеличение числа гипоплоидных клеток у одного из космонавтов было вызвано не мозаицизмом, а, по-видимому, сниженной осмотической стойкостью лимфоцитов.

7 Заказ № 716

Анализ частоты структурных повреждений хромосом выявил у космонавтов до полета несколько повышенный уровень аберраций. Однако сравнение наших результатов с результатами, полученными американскими исследователями, не выявило достоверных различий по предполетным данным. Было отмечено, что хроматидный тип аберраций как до, так и после полета превалирует над хромосомным. Вместе с тем данные, полученные нами после полета, отличались от результатов аналогичного обследования американских астронавтов. У американских астронавтов после некоторых полетов на космических кораблях типа «Джемини» было отмечено увеличение частоты хроматидных аберраций. У советских космонавтов до и после полетов на кораблях «Союз» частота аберраций хромосом практически не различалась.

Одной из возможных причин цитогенетического эффекта у американских астронавтов, на наш взгляд, является внутреннее облучение за счет введения изотопов астронавтам перед полетом, а также применение в кабинах кораблей типа «Джемини» кислородной газовой среды.

Таким образом, результаты наших цитогенетических исследований показали, что кратковременные космические полеты (от 3 до 18 суток) не вызывали повышения уровня хромосомных аберраций у космонавтов.

Повторное обследование трех космонавтов было проведено через три недели после полетов. Было отмечено заметное повышение количества аберраций хроматидного и хромосомного типа по сравнению с их количеством до полета и в первые сутки после полета. О причинах этого явления пока судить довольно трудно, но оно свидетельствует о необходимости неоднократного цитогенетического обследования космонавтов.

# Глава 9. ОСОБЕННОСТИ СТАТО-КИНЕТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

## ПОЗНО-ЛОКОМОТОРНАЯ АКТИВНОСТЬ

Перспектива практической деятельности человека по освоению космоса предполагает разработку вопросов длительного влияния факторов космического полета на целый ряд механизмов, обусловливающих функциональную состоятельность человеческого организма. Медицинская программа полетов на космических кораблях типа «Союз» предусматривала дальнейшее исследование указанной проблемы, в частности, относительно опорной функции, проявляющейся в позах и локомоциях при постоянном тоническом напряжении мускулатуры, которая во взаимодействии со зрительной, слуховой, вестибулярной и тактильной функциями обеспечивает непосредственный биофизический контакт в системе человек — окружающее пространство.

Непрерывная тоническая активность и постурально-тоническая деятельность как специфические компоненты жизнедеятельности организма в условиях гравитации приобретают самостоятельное значение при изменении структуры непосредственного окружения (Горбов, 1962). Это обстоятельство находится в тесной связи с признанием отражательной и моделирующей функции человеческой психики, использующей в качестве инструмента саморегуляции информационную модель (Эшби, 1962; Анохин, 1963, 1971; Миллер и др., 1965; Бернштейн, 1966; Бехтерева, 1974). И потому при обсуждении механизмов постуральных и локомоторных сдвигов возникает необходимость в привлечении наряду с биомеханическими (опора, равновесие и др.), физиологическими и неврологическими (мышечный тонус, тоническая активность, координация движений пр.), также и психологических категорий (потребности, восприятие, деятельность и пр.).

В земных условиях информация о состоянии мышечного тонуса и позной активности здоровым человеком либо совершенно не осознается, либо воспринимается частично, при специально направленном на их организацию волевом усилии (например, аутогенная тренировка спортсменов), а в представлении некоторой части больных обобщается искаженно (например, феномены «фантома», нарушений «схемы тела», аутотопагнозии, дисморфофобии и пр.).

В основе локомоторной активности человека лежит, как известно, сложная билатеральная координация моторной деятельности в полисуставных рабочих механизмах, в которой организм выступает как целое, обеспечивая выполнение двигательной задачи, произвольных движений и действий человека.

В условиях космического полета у человека происходит реорганизация привычных позных установок и всей позно-координаторной и локомо-

торной деятельности (принятие и стабилизация позы, распределение мышечно-тонических усилий при адекватном восприятии положения тела в пространстве и пр.) таким образом, что последующее возвращение на Землю требует специального сознательного контроля для их восстановления.

В связи со сказанным, клиническое и экспериментальное исследование структуры локомоции, механизмов позы и состояния мышечно-тонического компонента представляется весьма важным аспектом изучения эффектов невесомости как в практическом, так и теоретическом отношении.

В самом деле, на основании закономерностей построения ходьбы, например после приземления и в период реадаптации, можно судить о влиянии полетов различной продолжительности на двигательную сферу, оценить эффективность бортовых средств профилактики двигательных расстройств, прогнозировать сроки восстановления, обоснованно строить режим двигательной активности и физических тренировок космонавтов в период реадаптации к земным условиям.

В то же время закономерности восстановления мышечного тонуса, обеспечивающего характерную для человека вертикальную позу, и самой позы как моторной установки тела, позволяют ближе подойти к пониманию механизмов взаимодействия человеческого организма с окружающим пространством, средой.

## ДИНАМИКА ЛОКОМОТОРНОЙ АКТИВНОСТИ

Нами были изучены циклические и ациклические локомоции у 14 космонавтов после космических полетов продолжительностью от 2 до 30 суток на кораблях «Союз».

Впервые исследования были проведены после 18-суточного полета А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова на корабле «Союз-9» через 3—6 час. после приземления и спустя 1, 2, 3, 5, 7 и 25 суток после полета. Методами фотоциклографии (с частотой фиксации последовательных положений звеньев тела 48 и 64 раза в секунду) и киноциклографии (с частотой 24 кадра/сек) регистрировалось выполнение ходьбы и бега в привычном темпе, а также прыжков в длину с места. После полета на кораблях «Союз-12, 13, 14, 15, 16, 17» у космонавтов исследовалась ходьба в темпе 120 шаг/мин с открытыми и закрытыми глазами при длине шага 0,7 м и в темпе 140 шаг/мин при длине шага 0,8 м с открытыми глазами, максимальные прыжки в длину и в высоту с места.

При выполнении заданий осуществлялась комплексная, синхронная регистрация фотоциклограмм движений и акцелерограмм по трем осям координат в проекции условного центра тяжести тела, тензограмм опорных реакций с носков и пяток обеих подошв.

Полученные результаты сопоставлялись с результатами предполетных обследований, принятых за критерий оптимального состояния исследуемой функции.

Оказалось, что первый период после приземления характеризуется отчетливыми изменениями походки. После 2-суточного пребывания в условиях космического полета у космонавтов В. Г. Лазарева, О. Г. Макарова, Г. В. Сарафанова, Л. С. Демина он продолжался от 15 до 30 мин. При этом отмечалась неустойчивость вертикальной позы стоя и при передвижении, незначительно нарушалась содружественная работа рук при ходьбе и линия ходьбы, сохранялись длина шага и высота подъема колена и стопы в период переноса. Постановка стопы на опору производилась «ударно». Даже при отсутствии видимых нарушений походки космонавты субъективно в первый день отмечали отсутствие привычных ощущений комфорта при выполнении передвижений. Значимых различий в степени выраженности изменений походки у космонавтов не было. На вторые сутки внешняя картина ходьбы не отличалась от обычной.



После полетов продолжительностью шесть и восемь суток космонавты А. В. Филипченко, Н. Н. Рукавишников, П. И. Климук и В. В. Лебедев сразу после приземления сохранили способность самостоятельного передвижения. При ходьбе они отмечали неуверенность и шаткость походки, потерю равновесия при поворотах, невозможность стояния на одной ноге. На вторые сутки походка восстанавливалась, однако субъективно космонавты еще ощущали явления дискомфорта при передвижении и необходимость использовать зрительный контроль движений. Через двое суток внешняя картина движений восстанавливалась.

У А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова нарушения локомоторных функций после 18-суточного полета были более выражены, чем после полетов продолжительностью 16 суток у П. Р. Поповича и Ю. П. Артюхина и 30-суточного полета у А. А. Губарева и Г. М. Гречко.

Стадия затруднения самостоятельного передвижения наименее длительной была у П. Р. Поповича и Ю. П. Артюхина и наибольшей — у А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова. У последних при исследовании спустя три часа после посадки ходьба сопровождалась выраженными вегетативными реакциями (покраснение лица, учащение пульса). Космонавты при ходьбе широко расставляли ноги в стороны, туловище переваливалось в сторону опорной ноги, линия ходьбы не выдерживалась. Для большей устойчивости они зачастую разводили руки в стороны. Ходьба осуществлялась мелкими шагами, нестабильной длины. Существенно уменьшилась высота подъема колена маховой ноги при переносе. Весьма характерным было то, что при переносе во время переднего шага движение стопы вперед — вниз ускорялось и в дальнейшем, в момент переднего толчка, космонавт не ставил стопу, а как бы бросал ее на опору, что создавало впечатление «штампующей» походки. Эти изменения особенно отчетливо были выражены через 3—6 час. после посадки корабля. На вторые сутки походка значительно улучшилась, но постановка стопы все же производилась ударно (период ударной походки).

Результаты исследования походки находились в соответствии с субъективными ощущениями космонавтов. Так, субъективная переоценка истинного угла сгибания конечности сопровождалась видимым задеванием ногой за вышестоящую ступеньку при ходьбе по лестнице. Следовательно, невесомость, ставшая привычной в длительных полетах, вызвала нарушение восприятия схемы тела при возвращении в земные условия (Чекирда, Колосов, 1970).

А. Г. Николаев рассказывал о первом выполнении ходьбы: «Головокружения не было. Было сердцебиение при движениях. Ощущал

тяжесть всего тела». В. И. Севастьянов отмечал: «После посадки ног я не чувствовал и устойчиво регулировать положение центра тяжести не мог. Первый раз я встал и стоял, но следующее движение ходьбы — перенос ноги — получилось некоординированным. Наклонишься в сторону и тянет туда».

Таким образом, анализ внешней картины ходьбы и субъективных ощущений космонавтов свидетельствует о выраженных нарушениях в двигательной сфере после полетов различной продолжительности.

Объективно наибольшие изменения кинематической картины ходьбы были выявлены после 18-суточного полета. По сравнению с фоновыми данными через двое суток после приземления длина одиночного шага уменьшилась на 12%. Темп ходьбы — на 33%. Длительность переносного интервала сократилась на 25%, а длительность двойной опоры увеличилась на 40%. За счет этих изменений космонавтам удалось сохранить или даже несколько увеличить (на 3—4,5%) заданную скорость передвижения.

Отмечено изменение частных кинематических показателей движения звеньев тела при ходьбе (рис. 40). Кривая перемещения центра тяжести головы своей конфигурацией коррелировала с кривой центра тяжести тела, имея несколько большие размахи. Ее вертикальные колебания после полета уменьшились особенно значительно (на 34%), тазобедренного сустава несколько меньше (на 30%), коленного и голеностопного — еще меньше (соответственно на 19 и 16%), что свидетельствует о приспособительном уменьшении механической работы по вертикальному перемещению тела.

Максимальный вынос бедра вперед от вертикали уменьшился на 18°, угол разгибания увеличился на 8°.

На 3—5-е сутки периода реадаптации походка и кинематика обычной ходьбы у экипажа «Союз-9» не отличалась от фоновой.

После 8-суточного пребывания в невесомости на третий день видимых изменений походки не было. Воспроизведение заданного темпа ходьбы с открытыми и закрытыми глазами ухудшилось. Отмечена тенденция к недооценке в восприятии заданного ритма движений. При ходьбе с открытыми глазами у обоих космонавтов темп возрос до 137 шаг/мин. Ухудшилась точность движений при воспроизведении заданного шага, а скорость ходьбы возросла в среднем при открытых глазах на 1,277 км/час и на 1,212 км/час при закрытых глазах. Через восемь суток после полета кинематические и метрические показатели ходьбы не отличались от фоновых значений.

После 16-суточного пребывания в условиях невесомости у экипажа «Союз-14» стадия затруднений самостоятельной ходьбы продолжалась менее часа. Через три часа после посадки космонавты смогли успешно выполнить заданную ходьбу с открытыми и закрытыми глазами и развить на небольшом пространстве достаточную скорость передвижения, что свидетельствует о высоких компенсаторных возможностях двигательной сферы. Скорость ходьбы у П. Р. Поповича составила 5,195 км/час, а Ю. П. Артюхина — 5,15 км/час при заданной скорости 5,04 км/час. Через двое суток после полета у Поповича воспроизведение темпа ходьбы не отличалось от фонового, у Артюхина при открытых глазах темп ходьбы возрос, при закрытых — уменьшился.



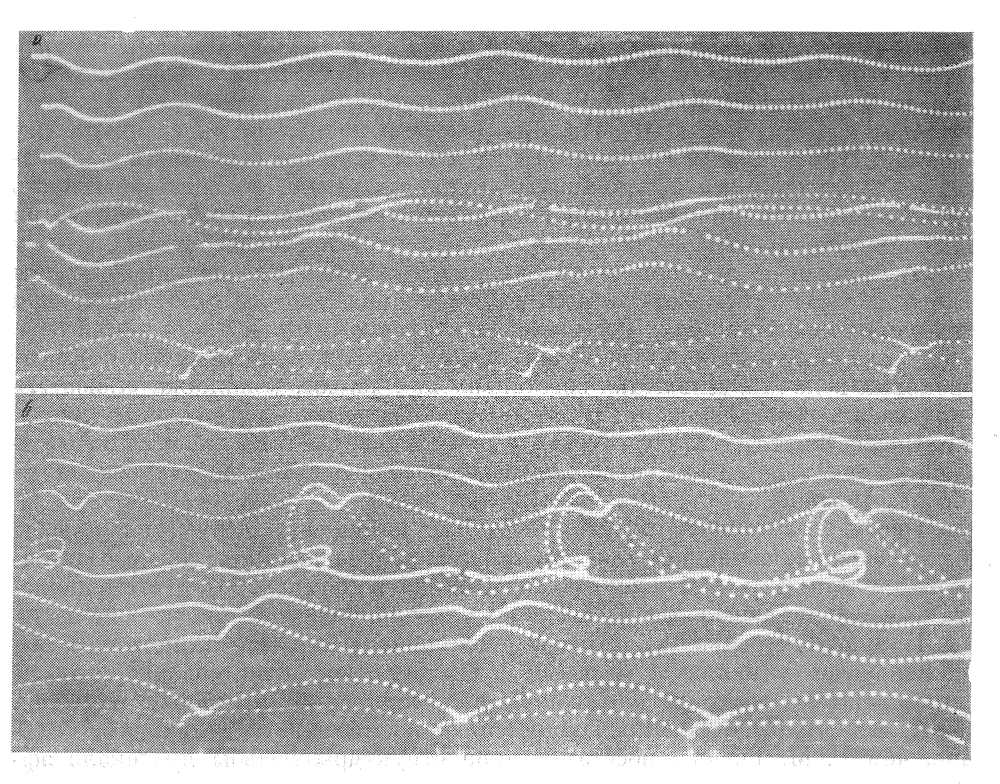



Рис. 40. Циклограммы ходьбы в темпе 140 шаг/мин у космонавта Г. М. Гречко до (*а*) и через 6 час. после (*б*) 30-суточного полета. На циклограмме сверху вниз траектории перемещения опознавательных точек головы, плечевого, локтевого, лучезапястного суставов, центра тяжести кисти, тазобедренного сустава, бедра, коленного, голеностопного суставов и конца стопы

Следует отметить, что выраженность нарушений у экипажа «Союз-14» была значительно меньшей, чем в этот же период у экипажа «Союз-9». Период видимых нарушений походки сократился вдвое, отсутствовали болезненные ощущения в мышцах ног. Период изменения кинематики ходьбы сократился. Эти результаты позволяют оценить изменения, происшедшие в объеме, качестве физических тренировок на борту корабля, совершенствовании комплексного физического тренажа и в увеличении доли специфичных упражнений локомоторного характера на тренажере.

У экипажа «Союз-17» исследования впервые были проведены через 6 час. после посадки. Объективно нарушения походки были более выражены у Г. М. Гречко. Движения им совершались осторожно и замедленно. У А. А. Губарева на фоне преобладания явлений возбужденности наблюдалась более уверенная походка. На следующий день появились боли в икроножных мышцах, более выраженные у А. А. Губарева. Субъективно нарушение комфортности передвижения ощущалось космонавтами в течение пяти дней. В первый день они не могли воспроизводить заданный темп и длину шага, при этом скорость передвижения уменьша-

лась. У А. А. Губарева длина шага даже увеличилась, но темп ходьбы существенно уменьшился и скорость составила при ходьбе в темпе 120 шаг/мин 4,173 км/час; у Г. М. Гречко — 4,2 км/час.

Однако способность к развитию высокой скорости передвижения у космонавтов сохранилась. Следовательно, в основе отмеченных нарушений лежит деавтоматизация двигательных навыков, растренированность механизма координации движений в пространстве и во времени. При выполнении тестов с закрытыми глазами общая возбужденность у А. А. Губарева привела к недооценке в восприятии заданной длины шага. У Г. М. Гречко отмечалась переоценка шага. Темп ходьбы при закрытых глазах у обоих космонавтов уменьшался.

Через трое суток показатели ходьбы улучшились, но отличались от фоновых величин. Динамика восстановления ходьбы у экипажа «Союз-17» протекала эффективнее, чем у экипажа «Союз-9».

После 2-суточных космических полетов нарушений кинематики движений при выполнении проб ходьбы через двое суток после посадки не было выявлено.

После 18-суточного полета некоторые нарушения структуры ходьбы были зафиксированы на 25-е сутки периода реадаптации, после 8-суточного полета они наблюдались на 9-й день, после 16-суточного полета — через две недели.

Нарушения структуры ходьбы у экипажа «Союз-17» были менее выражены, чем у экипажа «Союз-9», благодаря, вероятно, совершенствованию режима и средств физической тренировки на борту корабля. У А. А. Губарева, тренировавшегося во время полета в два раза больше, чем Г. М. Гречко, восстановление структуры ходьбы протекало эффективнее.

Что касается ациклических локомоций, то быстрота их совершения при максимальном нервно-мышечном напряжении приводила к тому, что движения выполнялись по предварительной смысловой установке и центральная нервная система часто просто не успевала вносить в построение движений поправки. Поэтому анализ их координационной структуры лишь подтвердил приведенные выше зависимости. Вместе с тем были выявлены наиболее показательные параметры: величина развиваемой перегрузки в центре тяжести тела и величина прыжка. Если первая в основном отражает силу мышечных сокращений, то вторая зависит также от совершенства координации движений. Анализ показал, что после 2-суточных полетов на вторые сутки реадаптации эти показатели не отличаются от таковых до полета. После 6- и 8-суточных полетов через двое и трое суток метрические показатели прыжков уменьшаются на 4—6,5%, а развиваемая перегрузка в центре тяжести тела по вертикальной оси — на 1—4,2%. Меньшие изменения развиваемой перегрузки по сравнению с конечным результатом действия косвенно свидетельствуют о наличии дискоординации движений. Через семь и девять дней периода реадаптации показатели не отличались от фоновых.

Через семь суток после посадки у П. Р. Поповича длина прыжка уменьшилась на 20%, высота подъема центра тяжести тела при прыжке в высоту уменьшилась на 24,1%. У Ю. П. Артюхина эти показатели выражались соответственно цифрами 12 и 14%. Перегрузка в среднем уменьшилась на 17% у П. Р. Поповича и на 14% у А. П. Артюхина.



Через 14 суток после 16-суточного полета показатели ациклических локомоций восстановились полностью. После 18-суточного полета длина прыжка у космонавтов через семь суток после посадки в среднем сократилась на 28%. После 30-суточного полета прыжки исследовались через 12 дней. Метрические показатели в среднем сократились на 18%, развиваемые перегрузки в центре тяжести тела — на 14%.

Восстановление основных показателей ациклических локомоций после полетов продолжительностью от 2 до 18 суток наступало раньше восстановления координационной структуры ходьбы.

Таким образом, проведенные исследования локомоторной активности позволили дать характеристику выраженности у космонавтов деавтоматизации сложнокоординированных двигательных навыков после полетов различной продолжительности. Выявленная при этом стадийность восстановления локомоторной активности обосновывает необходимость дифференцированного подхода к двигательному режиму и физическим нагрузкам в послеполетный период.

### Динамика позной активности

В обычных условиях поддержание вертикального положения у здорового человека не вызывает затруднений, оно осуществляется на основе автоматизированного навыка, сложившегося в онтогенезе. По современным представлениям, это достигается в результате слаженного взаимодействия функциональных мозговых систем, организующих и регулирующих приспособительное поведение (Бернштейн, 1947, 1966; Анохин, 1963, 1971; Лурия, 1973; Прибрам, 1975; и др.).

При этом исходный фон — позно-тоническая активность — в виде иерархии уровней мышечного тонуса и позных установок (спинальные автоматизмы, синергия, простые движения) испытывает сложные модулирующие влияния со стороны системы пространственного анализа (функциональные связи кинестетических, зрительных, вестибулярных афферентных потоков) (Ананьев и др., 1959), в ходе которых определяются параметры и режим функционирования действующего механизма регуляции вертикальной позы — опорно-тонического аппарата, что обеспечивает динамический уровень исходной активности.

Адаптация к условиям невесомости предполагает реорганизацию всей позно-координаторной деятельности на основе становления нового навыка в ходе сенсомоторного обучения, имеющего, как и всякое обучение, индивидуальный характер.

При возвращении человека из космоса в процессе реадаптации к привычным условиям земной гравитации перед организмом возникают разные задачи. Применительно к поддержанию вертикальной позы, организация адаптационной деятельности предполагает наряду с активацией собственно постуральных механизмов включение и системно-личностных реакций.

Исследование устойчивости вертикальной позы у членов экипажей космических кораблей типа «Союз» проводилось за 30—40 суток до полета и в различные (через 9, 18, 27 час.) периоды после приземления с последующими повторными наблюдениями в процессе реадаптации после длительных полетов (космические корабли «Союз-9», «Союз-17»).

Программа исследования включала выполнение заданной постуральной деятельности в виде принятия и удержания в течение 1 и 2 мин. последовательного ряда поз: удобная стойка (голова прямо, глаза открыты); удобная стойка при исключении зрительного контроля; поза Ромберга; стояние с одновременным наклоном головы вперед или назад (Петухов, Пурахин и др., 1970).

Характер регуляции вертикальной позы оценивался при помощи стабилографической (СТГ) методики (Бабский и др., 1952), отражающей перемещение проекции общего центра тяжести тела (ОЦТТ) на плоскости опорного контура в двух взаимно перпендикулярных направлениях — сагиттальном и фронтальном.

При анализе стабилограмм обычно принимаются во внимание средняя частота и амплитуда колебаний ОЦТТ; в нашей работе помимо этого анализировалась структура постуральной деятельности на основе состава колебаний ОЦТТ и процентного содержания СТГ-составляющих (Мясников и др., 1975).

В ряде случаев (экипажи космических кораблей «Союз-6, 7, 8») для оценки координационного статуса указанная программа дополнялась исследованием физиологического тремора методом сейсмотремографии.

Кроме того, проводилась непрерывная регистрация пульса и артериального давления (дискретно, тахоосцилографическим методом по Н. Н. Савицкому) в предварительной позе лежа и в каждой исследуемой вертикальной позиции.

Таким образом, общая оценка адаптивной деятельности человека применительно к позе строилась комплексно, на основе материалов наблюдения (выполнение инструкций, внешние проявления статики и моторного поведения), самооценок (субъективные ощущения) и данных объективной регистрации постуральных и вегетативных реакций.

Анализ материалов предполетного обследования показал, что все космонавты хорошо перенесли предлагаемое статистическое воздействие: инструкции выполнялись четко, усталости и отказов в связи с этим от продолжения исследования не отмечалось.

Стабилографические данные выявили индивидуальную динамику исходных показателей средней частоты и амплитуды колебаний ОЦТТ, отражавшую, вероятно, своеобразие позной установки, как частного проявления моторного поведения (походка, общий стиль перемещений тела и фиксации поз, манера держаться), присущего каждому из обследуемых (позиция «удобная стойка»). Нагрузочные пробы (исключение зрительного контроля, поза Ромберга, наклоны головы) вызывали кратковременный адекватный разбаланс позы (переходный период от 200 мсек. до 1,4 сек.) с последующей стабилизацией (согласно инструкции) новой позы, отличавшейся повышением средней амплитуды колебаний ОЦТТ на стабилограмме.

По результатам сейсмотремографии, частота и амплитуда физиологического тремора в положении стоя превышала аналогичные показатели в положении сидя.

В беседах с космонавтами после приземления выявились некоторые особенности перестройки и моторики произвольных движений в условиях космического полета.



Так, космонавт Г. Т. Береговой в начале полета отмечал некоторое увеличение паузы между намерением совершить действие и самим действием (Воробьев и др., 1969), а также слабовыраженное чувство дискомфорта при резких поворотах головы.

Учитывая возможную в условиях адаптации к невесомости вестибулярную симптоматику, члены экипажей кораблей «Союз-12, 13, 14» в первые часы полета старались передвигаться в кабине осторожно, избегая резких и быстрых поворотов и наклонов (Гуровский и др., 1975), что проявлялось в некоторой скованности движений.

А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов в начале полета испытывали некоторые затруднения в оценке величины мышечных усилий, необходимых для соответствующих движений, которые при этом оказывались несоразмерными с привычными по отношению к результату действия. Новый двигательный стереотип установился у них к 3—4-м суткам: космонавты обрели необходимую точность движений и могли легко управлять положением тела, перемещаться, отталкиваться ногами, практически без контроля со стороны сознания (Воробьев и др., 1970).

Все космонавты указывали на возникавшую в начале полета потребность больше двигаться, выполнять комплексы физических упражнений.

Сразу же после приземления члены экипажей кораблей «Союз-6, 7, 8, 9» ощущали значительное (почти в два раза) увеличение веса предметов, собственного тела и отдельных его частей и затруднения в прилагаемых мышечных усилиях при попытках к действиям. Это проявлялось, в частности, в том, что при попытке встать обычного усилия оказывалось недостаточно и они вновь опускались в кресло. Космонавтам приходилось специально концентрировать внимание на своих движениях и перемещениях, сознательно их контролировать, что сказывалось на внешнем характере установочных поз, движений, походке. Поднимаясь по лестнице, они в большинстве случаев вынуждены были держаться за перила, а при ходьбе несколько расставлять ноги для большей устойчивости («Земля колеблется под ногами» — А. В. Филипченко).

А. Г. Николаеву и В. И. Севастьянову в первые три часа после полета трудно было сохранить вертикальную позу, предпочтительным было горизонтальное положение. При этом возникало ощущение повышенной тяжести, как при воздействии перегрузок величиной 2—2,5 ед. g (Воробьев и др., 1970). Аналогичные трудности в поддержании вертикального положения тела, сохранении равновесия (при попытках стоять на одной ноге), субъективной оценке величины перегрузок при вхождении корабля в плотные слои атмосферы и земного притяжения отмечались и членами экипажей кораблей «Союз-13», «Союз-14» и «Союз-17».

У части космонавтов неврологическим обследованием были выявлены симптомы асинергии Бабинского при попытке встать из положения лежа и адиадохокинезия.

Необходимо подчеркнуть, что те или иные изменения (иногда скрытые, проступавшие при нагрузках) статики, координации движений, походки — были свойственны всем космонавтам после возвращения в условия земной гравитации. Степень их выраженности обнаруживала некоторую связь с продолжительностью полета и характером полетной программы (в части, касающейся моторного поведения — профессиональной деятельности и режима физических тренировок на борту).

Индивидуальные различия в сопоставимых случаях проявлялись во времени реадаптации к привычному взаимодействию с окружающим пространством в условиях гравитации, которое колебалось от нескольких часов до 3 и более суток.

Указанные трудности позно-координаторной деятельности адекватно оценивались космонавтами как результат растренировки собственных биологических навыков и не являлись помехой к выполнению довольно насыщенной послеполетной программы.

Анализ данных стабилографии в послеполетных пробах обнаружил закономерные изменения параметров, характеризующих перемещения проекции ОЦТТ на плоскости опоры. Так, средняя амплитуда колебаний ОЦТТ возросла у всех космонавтов в каждой из проб по сравнению с предполетными обследованиями. У космонавтов В. И. Севастьянова и В. Н. Волкова она возросла на 200 и 182% соответственно, причем наибольших отклонений достигали величины колебаний в сагиттальном направлении, хотя у отдельных космонавтов (А. В. Филипченко, В. Н. Волков, А. Г. Николаев, В. И. Севастьянов) преимущественные сдвиги характеризовали фронтальное колебание.

Частота колебаний ОЦТТ после полета, как правило, снижалась, но иногда отмечалось увеличение уровня этого показателя, причем у Г. Т. Берегового и В. Н. Кубасова — в обеих плоскостях, у Е. В. Хрунова, В. А. Шаталова, А. С. Елисеева — в сагиттальной, у Г. С. Шонина, В. Н. Волкова, Б. В. Волынова — во фронтальной.

По данным сейсмометрии при обследовании экипажей «Союз-6, 7, 8», частота физиологического тремора в межполетных обследованиях менялась в пределах 10,8—12,2 колебаний в секунду, амплитуда — 5,0—6,1 мм.

После полета, на фоне усталости, отмечалось некоторое возбуждение и повышенная активность в поведении космонавтов. Показатели тремора в это время были следующие: частота в пределах 14,0—18,0 колебаний/сек, амплитуда 5,8—8,8 мм.

Особо следует остановиться на результатах обследования членов экипажа корабля «Союз-9». В связи с выраженными нарушениями статики программа стабилографических исследований могла быть проведена на вторые сутки после полета и повторно — на четвертые, десятые и тридцать пятые сутки. При этом у В. И. Севастьянова максимальные изменения параметров (особенно смещений во фронтальной плоскости) отмечались на четвертые сутки, а в очередном (10-е сутки) обследовании показатели колебаний ОЦТТ приближались к дополетным. Со стороны сердечно-сосудистой системы отмечавшиеся при обследовании на вторые сутки полета урежение сердечного ритма и повышение уровня среднего кровяного давления в последующем исследовании претерпели обратные сдвиги, особенно в позициях с наклонами головы.

Таким образом, в ходе выполнения медицинской программы полетов на кораблях «Союз-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9» удалось накопить значительный фактический материал относительно различных параметров, характеризующих функцию прямостояния человека в последействии космического полета.

При анализе экспериментальных данных по результатам стабилографии в период реадаптации была выявлена тенденция к увеличению средней амплитуды и снижению средней частоты колебаний общего центра тяжести тела при сохранении вертикальной позы в заданных режимах. Однако по мере возрастания числа наблюдений появились новые факты, подтверждавшие иные возможности адаптационных сдвигов в рамках подвижного комплекса «человек — опора». К ним следует отнести, например, уменьшение величин максимальных смещений ОЦТТ у космонавтов В. Г. Лазарева и О. Г. Макарова; отмеченные выше, как исключение, динамические СТГ-сдвиги у космонавтов Г. Т. Берегового и В. Н. Кубасова и пр. В связи с этим расчет изменений СТГ-перестроек, ориентированный исключительно на средние уровни показателей частоты и амплитуды, оказывался недостаточным для понимания механизмов постуральной реадаптации. Возникла настоятельная необходимость в более конкретном анализе самой структуры постуральной деятельности.



Как следует из данных работы, посвященной изучению позной активности (Гурфинкель и др., 1965), деятельность по регуляции равновесного оптимума в такой многозвенной системе, как человеческое тело, не может быть однозначно жестко запрограммированной. И потому правомерным было предположение, что существует, по-видимому, некоторый набор способов (тактик) достижения оптимального результата в интеграции вертикальной позы (Гельфанд, Цетлин, 1962), что должно было проявиться в вариациях постуральных перестроек по мере накопления полетного материала. Именно с этих позиций проводился анализ данных позной активности у членов экипажа корабля «Союз-17».

В предполетных обследованиях космонавтов А. А. Губарева и Г. М. Гречко основной фон СТГ-кривых включал полиморфные колебания с представленностью волн I, II и III порядков. Исключение зрительного контроля сопровождалось, как правило, увеличением процентного содержания на стабилограмме волн I порядка (период от 0,25 до 0,45 сек.) и уменьшением — волн II порядка (период от 1,0 до 2,5 сек.).

Аналогичные сдвиги на стабилограмме наблюдались и при переходе в позу Ромберга. Причем, в этой позе изменялся (становился более разнообразным) и состав колебаний по сравнению с позициями удобная стойка (УС-1) и стояние с закрытыми глазами (ГЗ) за счет появления волн с периодом колебаний 0,75—2,5 сек. (А. А. Губарев) и 0,6—2,5 сек. (Г. М. Гречко).

Программа постуральных нагрузочных проб в первом послеполетном обследовании была ограничена лишь позицией УС-1.

Как показали результаты, сохранение заданной позы в позиции УС-1 сопровождалось у обоих космонавтов существенными изменениями структуры стабилограмм. Обращало на себя внимание значительное обеднение основного фона стабилограмм, по сравнению с дополетными пробами, и стирание индивидуальных различий. На стабилограммах у обоих космонавтов преобладал стабильный фон с представленностью колебаний периодом 0,15 сек.— 96% у А. А. Губарева и 85% у Г. М. Гречко, причем у Г. М. Гречко это было более выражено во фронтальном направлении (97,5%), у А. А. Губарева — в равной степени касалось как сагиттального, так и фронтального (98%) направлений перемещения ОЦТТ. Наряду с этим выявлено изменение амплитуды максимальных отклонений ОЦТТ по сравнению с фоном: у А. А. Губарева — увеличение до 18 усл. ед. в сагиттальной плоскости и незначительное уменьшение (6 усл. ед.) во фронтальной (в фоне соответственно 12 и 7 усл. ед.), у Г. М. Греч-

ко — уменьшение до 10 усл. ед. в сагиттальной и до 5 усл. ед. во фронтальной плоскости (в фоне соответственно 20 и 12 усл. ед.).

В обследовании на второй день после посадки, проведенном по полной программе, выполнение постуральных проб у космонавта А. А. Губарева сопровождалось превалированием (от 66 до 90,5%) на стабилограммах постоянного фона с колебаниями периодом 0,15 сек. во всех позициях; у Г. М. Гречко — главным образом в позе Ромберга (51% — в сагиттальной плоскости и 94% — во фронтальной плоскости).

Максимальная амплитуда колебаний у Г. М. Гречко несколько возросла в позиции УС-1 по сравнению с первым послеполетным обследованием, но остановилась значительно ниже фоновых показателей; у А. А. Губарева это касалось лишь позиций ГЗ и УС-2.

В последующих обследованиях — на пятый день после посадки у Г. М. Гречко и на седьмой день у А. А. Губарева — наблюдалась положительная динамика выявления сдвигов. Структура позно-пространственной деятельности (по данным СТГ) постепенно приобретала индивидуальную окраску. Однако колебания периодом 0,15 сек. сохранялись в виде пароксизмальных включений, у Г. М. Гречко преимущественно в позе Ромберга (55—50%), у А. А. Губарева — во всех позициях, с максимумом (93%) при стоянии с закрытыми глазами.

Наряду с этим было замечено, что выполнение программы постуральных проб в первом и втором послеполетных обследованиях давалось космонавтам ценой направленного внимания, сознательной организации своих действий для поддержания заданной позы, при отсутствии потребности в их осуществлении (космонавты предпочитали горизонтальное положение).

Таким образом, пребывание человека в условиях новой среды с исключением привычных гравитационных влияний приводит к заметным изменениям опорной функции в виде нарушений устойчивости вертикальной позы при последующих воздействиях земной гравитации. Факт этот, неоднократно отмеченный советскими и американскими исследователями, не получил, однако, четкой интерпретации относительного патогенеза.

Значительные нарушения в координационной системе, регулирующей прямостояние, выявленные в результате длительных полетов (например, у членов экипажа корабля «Союз-9»), как справедливо отмечено Б. Н. Петуховым и др. (1970), могут быть следствием функциональных изменений в адаптированном к условиям невесомости организме. Из них можно указать на такие, как снижение мышечного тонуса (Балаховский и др., 1971; Черепахин, Первушин, 1970), изменение функции «мышечного насоса»; функциональные отклонения в состоянии нервно-мышечного аппарата (Какурин и др., 1970, 1971); циркуляторные сдвиги (Пурахин и др., 1972); изменение неврологического статуса в виде атаксии с нарушением координационной структуры ходьбы (Чекирда и др., 1971) в сочетании с изменениями метаболизма (Григорьев, Козыревская, 1970) и веса тела.

Все отмеченные факты, на наш взгляд, могут быть привлечены к объяснению расстройств опорной функции, будучи систематизированы с позиций единого представления об организации позно-тонической активности на основе функциональной модели постуральной саморегуляции.

Не вызывает сомнений положение, что сложившаяся система регуляции вертикальной позы является сформированной в ходе эволюции реакцией организма на гравитационное поле Земли для осуществления прямостояния.



По современным представлениям, в ее обеспечении участвуют различные анализаторные комплексы. Основная роль отводится суставно-мышечной проприоцепции как наиболее быстродействующему чувствительному звену, которая, однако, значительно ослабляется при исключении участия зрительного и вестибулярного анализаторов (функциональные параметры которых самостоятельно не могут обеспечить достаточной чувствительности и быстродействия) и испытывает существенные влияния, обусловленные состоянием высших отделов центральной нервной системы (скорость изменения которых невелика) (Гурфинкель и др., 1965).

Оптимальное взаимоотношение указанных составляющих непрерывно реализуется в практической деятельности человека, обеспечивая характерную установочную позу, с одной стороны, и рабочую готовность тонического аппарата — с другой, за счет непрерывного (автоматического) поддержания мышечного тонуса — «моторной установки». Оба элемента, смыкаясь на уровне психической активности, контурируют характерный образ самоощущения (восприятия человеком собственного тела как физического объекта), который, став привычным в процессе индивидуального развития человеческого организма, не достигает уровня сознания, но при необходимости может быть объектом сознательного контроля.

Характер самоорганизации позной активности с присущей индивидуальной окраской отражается в структуре рисунка стабилограмм, динамика которого на постоянном гравитационном фоне выражает определенную тактику адаптивного поведения, сочетающую автоматический и сознательный контроль позы (Мясников и др., 1975; Козеренко и др., 1975). Таким образом, сложившаяся модель постуральной саморегуляции является неотъемлемой частью психофизиологического взаимодействия человека с внешним пространством.

Условия космического полета с их главной особенностью — отсутствием гравитационных влияний — требуют от человека специальных усилий (обучения) для организации своего функционирования. В первую очередь это относится к моторному поведению, позно-пространственной деятельности, т. е., по-видимому, к необходимой перестройке постуральной модели, которая в режиме исключения силы тяжести оказывается несостоятельной. Об этом свидетельствует ряд признаков постурального и двигательного дискомфорта, отмеченных космонавтами в процессе адаптации к невесомости.

В то время как манипуляции с предметами, орудиями труда оказываются легко выполнимыми и человек быстро к этому привыкает (Berry, 1970, 1973), обеспечение чисто моторной функции (связанное с пластичными перераспределениями мышечного тонуса) — локомоций, движений типа «тяни-толкай» — на первых этапах адаптации вызывает затруднения.

Это проявляется в несоразмерности мышечных усилий в связи с предполагаемым действием, снижении точности произвольных движений (промахивание), осознании необходимости дозировать мышечные усилия и контролировать с помощью зрения результат движения. Все это в совокупности с физическими характеристиками внешнего пространства (ставшего трехмерным) и новым принципом двигательного действия (по типу

реактивного, с приданием значения функциональной «опоры» практически любой мышечной группе), вероятно, сопровождается временными нарушениями самоощущения и самовосприятия, на что недвусмысленно указывают отчеты членов экипажей американской орбитальной станции «Скайлэб».

Особые трудности (чрезмерная усталость) космонавтов во время операций вне космического корабля, по мнению Ч. Берри, связаны «... главным образом, с уникальным характером работы в условиях невесомости, где затруднены реакции на действие при заданном моменте и сохранения положения тела при отсутствии силы трения».

В процессе адаптации у космонавтов формируется способность правильно воспринимать, адекватно оценивать поступающую из внешней среды информацию и сознательно пользоваться ею для организации собственных физических усилий, произвольных движений и действий, т. е. осваивать в процессе выполнения профессиональных задач окружающее пространство (Berry, 1967, 1970, 1973; Воробьев и др., 1970; Kervin, 1974; Gibson, 1974; Гуровский и др., 1975).

Таким образом, позно-моторно-пространственная деятельность в условиях полета становится осознаваемой, регулируемой. Об этом свидетельствуют, в частности, ссылки на использование в качестве средств ее организации способности космонавта полностью расслабляться при нейтральном положении скафандра. По сообщению космонавта космического корабля «Джемини-12», он «систематически контролировал каждую группу мышц», используя (напрягая) только необходимые для текущей полезной работы и сознательно расслабляя остальные; «все движения были медленными и целенаправленными».

Иначе говоря, взаимодействие с измененной окружающей средой, особенно в период адаптации к невесомости, строится космонавтом активно путем «проб и ошибок» в моторном поведении. При этом функции управления движением в смысловом и исполнительном аспектах смыкаются, по-видимому, во «внешнем кольце управления». Сознательные усилия направляются преимущественно на то, как, каким образом следует «построить движение».

Такова в общих чертах концептуальная модель саморегуляции позно-тонической активности в условиях невесомости.

Возвращение в условия земной гравитации сопряжено с новыми перестройками модели саморегуляции позно-пространственной деятельности, с восстановлением индивидуального характера регуляции вертикальной позы.

Даже после кратковременных полетов (например, на космических кораблях «Союз-12» и «Союз-13») выполнение программы постуральных проб сопровождалось деформацией стабилографического рисунка главным образом за счет сглаживания волн III порядка, отражающих саморегулирующееся влияние высших мозговых уровней. Подобные сдвиги, но более выраженные, зарегистрированные в первом послеполетном обследовании экипажа «Союз-17», обнаружили как бы утрату индивидуального своеобразия рисунка стабилограммы: в структуре превалировал стабильный фон в виде немодулированных колебаний периодом 0,15 сек. В дальнейшем он трансформировался, стабилограмма постепенно приобретала индивидуальные черты.



Таким образом, структурно-динамические преобразования стабилограмм, закономерно присущие тому или иному типу индивидуальной организации постурально-тонической активности в условиях земной гравитации, оказывались последовательными фазами в процессе реадаптации опорной функции.

Развивая представление о функциональной модели постуральной саморегуляции как инструмента приспособительного поведения, следует предположить наличие общего, универсального, биологического механизма, независимо от индивидуального опыта. Отражением действия подобного механизма, по-видимому, и служит отмеченный монотонный фон немодулированных колебаний СТГ.

Анализ показал, что по частотной характеристике этот вид колебаний совпадает с кривой так называемого физиологического тремора, интегрирующего активность мотонейронов мышечных групп, работающих в позном режиме (Гельфанд и др., 1962, 1964). Его частным проявлением авторы считают присущую обычно стоящему человеку физиологическую атаксию, рассматривая ее как тремор многозвенной системы (Гурфинкель и др., 1965). Оценивая с этих позиций структуру стабилограмм в послеполетном периоде, мы получаем достаточное основание считать, что она, выражая тактику приспособительного поведения, внешне сходна с поведением однозвенной системы. По мере реадаптации подобный способ регуляции вертикальной позы трансформируется в индивидуально-привычный постуральный стереотип в зависимости от скорости восстановления постуральной модели и прошлого опыта обследуемых.

## СОСТОЯНИЕ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА

Эволюция животного мира проходила под непрерывным влиянием гравитации, наложившей свой отпечаток как на строение тела, так и на физиологические функции. Наиболее очевидно это влияние сказалось на морфо-функциональной организации опорно-двигательного аппарата. С момента возникновения и на всем протяжении онтогенетического развития, формирование скелета, мышечной системы, установка рефлекторной регуляции мышечного тонуса, направленная на поддержание позы и восстановление нормального уровня кровообращения, выработка стереотипа двигательной деятельности осуществляются в соответствии с привычной ориентацией организма в гравитационном поле.

Невесомость в значительной мере изменяет условия мышечной деятельности: отпадает необходимость в тоническом напряжении скелетной мускулатуры для поддержания позы, преодоления веса тела при передвижении, регуляции объемов жидких сред и периферической гемодинамики. Экспериментальные исследования с регистрацией электромиограммы различных групп мышц у животных и человека показали, что в состоянии невесомости, создаваемой при полетах на самолетах по параболе Кеплера и при вертикальных запусках ракет, снижается амплитуда биопотенциалов мышц, в большей степени антигравитационных (Юганов и др., 1968), т. е. снижается их тонус.

Сведения, касающиеся влияния космического полета на нервно-мышечный аппарат человека, ограничены. Исследования, выполненные до

начала полетов космических кораблей «Союз», касались в основном особенностей двигательной функции в невесомости. При этом были получены оптимистические результаты в отношении сенсо-моторной координации, а также способности свободно передвигаться и выполнять различные рабочие операции. Вместе с тем уже после этих, сравнительно непродолжительных полетов, стало ясно, что проблема статокинетических расстройств приобретает гораздо большее значение в послеполетном периоде.

Отсутствие информации о характере, динамике, степени опасности предполагаемых изменений со стороны нервно-мышечной системы в условиях длительного полета оставляло открытым и вопрос о способах их коррекции. Поэтому представлялось важным количественно оценить изменения показателей, характеризующих состояние двигательной сферы в зависимости от длительности полета.

Основное внимание было обращено на оценку рефлекторной возбудимости и мышечного тонуса. Кроме того, определяли силу и выносливость мышц, измеряли периметры конечностей. Исследования проводили в покое и при функциональных нагрузках за 15—20 суток до и на 2—3-и сутки после приземления. У экипажа корабля «Союз-9» процесс восстановления изучаемых показателей прослежен на протяжении месяца. Мышечный тонус исследовали путем 8—10-кратного определения твердости мышц миотонометром Сирмаи. Для исследования были выбраны передняя большеберцовая мышца, четырехглавая бедра и двуглавая плеча.

Рефлекторная возбудимость оценивалась в покое методом электромиографической регистрации коленного рефлекса; рефлекс вызывали динамометрическим молотком, позволяющим одновременно регистрировать величину и момент механических раздражений. Молотком производилось 15—20 ударов с интервалом в 1 сек.

Силу мышц определяли при помощи станового и кистевого динамометров. Выносливость мышц оценивали по степени изменения биоэлектрической активности при вызове коленных рефлексов тотчас после окончания функциональной пробы на велоэргометре (ступенчато возрастающая нагрузка 600—1400 кг/мин в течение 5 мин.). Известно, что утомление мышц, как правило, сопровождается снижением их возбудимости.

Как показали результаты, после приземления у космонавтов, совершивших относительно непродолжительные (2—8 суток) космические полета, в отдельных случаях возникали кинестетические нарушения, проявляющиеся в затруднении поддержания тела в вертикальном положении, в ощущении веса частей тела, в иллюзии увеличения веса предметов, с которыми они манипулировали. В ближайшие 2—3 часа эти проявления постепенно ослабевали и наконец исчезали.

Снижение тургора мышц ног обнаружилось уже пальпаторно и визуально. При объективном исследовании выявлено достоверное снижение тонуса передней большеберцовой мышцы и четырехглавой бедра практически у всех космонавтов. Тонус двуглавой мышцы плеча изменился в меньшей степени.

Однонаправленные изменения обнаружены и при определении физической силы мышц-разгибателей туловища. Этот показатель также снизился у всех членов экипажей (за исключением А. С. Елисеева) в среднем на 11,5% по группе космонавтов, совершивших 2—8-суточные полеты. В то же время сила кисти в ряде случаев превышала исходные показатели.



После 2—5-суточных космических полетов отмечена тенденция к уменьшению периметров голени и бедра. Более заметное уменьшение периметров голени и бедра выявлено у космонавтов, совершивших 8-суточный полет. У них же в большей степени был снижен и вес тела (П. И. Климук и В. В. Лебедев).

Одним из наиболее постоянных результатов в послеполетных исследованиях было возрастание амплитуды биопотенциалов четырехглавой мышцы бедра на фоне коленного рефлекса в покое. Исследования проводили у 15 членов экипажей кораблей «Союз». Лишь у двух космонавтов амплитуда рефлекса практически не изменилась.

Необходимо указать на индивидуальные особенности в проявлении рефлексов. Так, амплитуда биоэлектрических потенциалов четырехглавой мышцы бедра на фоне коленного рефлекса колебалась у космонавтов от 19 до 360 мкв в предполетном исследовании и от 17 до 400 мкв после полета.

Пятиминутная ступенчатая нагрузка (60—1400 кг/мин) после полета сопровождалась у всех космонавтов, за исключением А. С. Елисеева (после обоих полетов), однонаправленными сдвигами: значительным падением биоэлектрической активности четырехглавой мышцы бедра, участвующей в реализации коленного рефлекса.

Таким образом, после полетов на космических кораблях «Союз» продолжительностью 2—8 суток у членов экипажей отмечено умеренное снижение тонуса мышц бедра и голени, уменьшение становой силы, возрастание рефлекторной возбудимости нервно-мышечного аппарата в покое и более выраженная, чем до полета, степень ее падения в ответ на физическую нагрузку. Тонус двуглавой мышцы плеча и сила рук при этом изменялись несущественно.

После 18-суточного полета картина в значительной мере изменилась. Первые 3—4 часа после приземления космонавты предпочитали лежать, так как было трудно сохранить вертикальную позу. Попытка встать сопровождалась головокружением и слабостью. При ходьбе возникала необходимость страховки. Беспокоило чувство повышенной весомости различных частей тела и предметов, которыми пользовались космонавты. Когда космонавты лежали, у них было ощущение вдавливания в постель. В течение 3—5 дней после полета беспокоили мышечные боли. Эти эффекты в первые сутки после полета были ведущими. В первый день обследования было отмечено, что амплитуды биопотенциалов мышц, участвующих в реализации коленного рефлекса, возросла по сравнению с дополетными данными у А. Г. Николаева более чем в два раза, у В. И. Севастьянова — в три раза (табл. 38).

Оба космонавта испытывали болезненные ощущения в момент нанесения ударов динамотензометрическим молотком по сухожилию, которые постепенно сглаживались (по интенсивности) и на седьмые сутки после полета исчезали.

Кроме того, выявлено преобладание рефлексов справа, сохранившееся у В. И. Севастьянова и на 11-е сутки после полета. На 36-е сутки периода реадаптации рефлексы у обоих космонавтов вызывались с трудом

Таблица 38. **Биоэлектрическая активность (в мкв) мышц, принимающих участие в реализации коленного рефлекса**

| Период обследования | А. Г. Николаев | | В. И. Севастьянов | |
|---|---|---|---|---|
| | правая нога | левая нога | правая нога | левая нога |
| **До полета** | 60 | — | 70,0 | — |
| **После полета, сутки** | | | | |
| 2-е | 145,9 | 53,8 | 264,0 | 162,0 |
| 3-е | 88,3 | 78,7 | — | — |
| 4-е | 84,5 | 55,7 | 142,08 | 51,8 |
| 7-е | 74,8 | 44,5 | 103,2 | 49,8 |
| 11-е | 80,0 | 82,0 | 66,0 | 24,0 |
| 36-е | 24,0 | 18,0 | 20,0 | 18,0 |

как слева, так и справа. Судить об асимметрии при таком низком уровне рефлекторной возбудимости не представлялось возможным.

Определение показателей тонуса мышц у космонавтов после полета обнаружило его снижение на ногах (тонус бедра у А. Г. Николаева был низок и до полета). Мышцы плеча у обоих космонавтов после полета обнаружили превышение исходных показателей тонуса.

Тонус мышц с максимальным напряжением у А. Г. Николаева существенно не изменился, у В. И. Севастьянова оказался сниженным. Восстановление тонуса по Сирмаи у обоих космонавтов практически наступило на 11-е сутки.

Сила сгибателей кисти после полета была практически такой же, как и до полета. Становая сила снижена у А. Г. Николаева на третьи сутки после полета на 40 кг, у В. И. Севастьянова — на 65 кг.

Восстановление становой силы наступило на 11-е сутки. Следует указать, что оба космонавта обращали внимание на болезненность мышц ног и спины при определении становой силы.

При замерах периметров конечностей обнаружено уменьшение окружностей голени и бедра. Периметры плеча оставались практически неизменными (табл. 39). На 11-е сутки после полета у А. Г. Николаева окружности конечностей соответствовали исходным, у В. И. Севастьянова этот показатель оставался несколько сниженным.

Анализ результатов, полученных при обследовании членов экипажей космических кораблей «Союз-3» — «Союз-13», свидетельствует о том, что увеличение продолжительности полета до 18 суток вызывает более выраженные изменения нервно-мышечной системы, чем 2—5-суточное пребывание в невесомости. На это указывают также и другие исследователи, обнаружившие нарушение регуляции вертикальной позы (Петухов и др., 1970), уменьшение оптической плотности костной ткани (Бирюков, Красных, 1970), существенное снижение ортостатической устойчивости (Калиниченко и др., 1970).

После орбитальных полетов продолжительностью 2—5 суток не удалось обнаружить серьезных изменений со стороны нейромышечной сферы. Буквально в первые же часы после приземления у космонавтов восстанавливались обычные для земных условий двигательно-координационные навыки, хотя в течение некоторого времени они и испытывали иллюзии возросшей силы тяжести, увеличения веса предметов, с которыми им приходилось манипулировать. Тем не менее объективные показатели нейромышечной системы обнаружили некоторую закономерность. Так, снижение тонуса мышц, тенденция к уменьшению периметра практически относились преимущественно к мышцам ног, по отношению к мышцам рук эти показатели изменились крайне мало. Осталась близкой к исходной и физическая сила рук, тогда как становая уменьшилась у всех космонавтов.



Такой характер изменений может указывать прежде всего на функциональную недогруженность в невесомости мышц, участвующих в поддержании вертикального положения тела. В земных условиях, как известно, преодоление гравитационных сил в основном обеспечивается тонической деятельностью мышц ног и туловища. Решению вопроса о дифференциальном значении условий космического полета в развитии нарушений нейромышечного аппарата и других систем в значительной мере способствовали результаты исследований, полученных в 18-суточном полете, совершенном А. Г. Николаевым и В. И. Севастьяновым.

Важно отметить, что изменения локомоций после полета были более выражены, чем во время него. Так, космонавты испытывали некоторые затруднения при выполнении движений только в начале полета, а спустя 3—4 дня они обрели необходимую точность при выполнении различных двигательных актов. После же полета осуществление любых двигательных актов было не только трудным, но и тягостным. Для сохранения вертикального положения тела требовались усилия, а при ходьбе возникала необходимость страховки.

Мы не будем подробно останавливаться на послеполетных сенсомоторных расстройствах, укажем лишь, что отдельные их особенности (повышенное чувство весомости тела и предметов, шаткость походки, затруднения в поддержании вертикального положения тела, ощущение давления одежды на кожную поверхность, необычность позы при засыпании,

Таблица 39. **Параметры конечностей (в см)**

| Период обследования | А. Г. Николаев | | | В. И. Севастьянов | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | голень | бедро | плечо | голень | бедро | плечо |
| **До полета** | 34,5 | 49,1 | 26,7 | 35,2 | 54,8 | 26,7 |
| **После полета, сутки** | | | | | | |
| 2-е | 34,1 | 47,0 | 26,8 | 33,2 | 51,6 | 26,3 |
| 3-и | 33,9 | 47,8 | — | — | — | — |
| 4-е | 34,0 | 48,0 | — | 33,9 | 50,5 | — |
| 7-е | 34,4 | 48,0 | 27,1 | 34,1 | 51,7 | 26,6 |
| 11-е | 34,7 | 49,0 | 26,7 | 34,9 | 51,9 | 26,9 |
| 36-е | 35,0 | 50,7 | 28,4 | 34,8 | 54,1 | 26,4 |

когда голова оказывалась опущенной с кровати, чтобы обеспечить прилив крови к ней и др.) давали основание предполагать, что невесомость играла главную роль в их развитии.

В литературе, посвященной анализу результатов космических полетов (Газенко и др., 1967; Berry, 1967), в качестве основных патогенных факторов, приводящих к развитию изменений, вызванных невесомостью, рассматриваются: ограничение мышечной деятельности, отсутствие гидростатического давления крови и тонуса опоры, изменение в деятельности эфферентных систем.

Влияние некоторых из этих факторов на организм человека и животных изучено в наземных экспериментах. Вместе с тем остается пока еще неясной роль отсутствующей в невесомости нагрузки, которая в земных условиях создается весом тела, независимо от занимаемой позы и уровня двигательной активности.

Для понимания непосредственной роли этого фактора в развитии недостаточности нейромышечного аппарата человека представлялось необходимым отдельно оценить значение сопутствующей ей в полете гиподинамии и полученные результаты сравнить с послеполетными данными.

Сопоставление показателей тонуса мышц, их силы, объема массы и состояния проприоцепции космонавтов, совершивших 18-суточный полет, с данными, полученными нами у испытуемых, находившихся в течение 30 суток на строгом постельном режиме, а также с материалами других исследователей, изучавших состояние нейромышечной системы человека в аналогичных экспериментах (Черепахин, 1968; Какурин, 1968; Панов и др., 1969), позволяет найти следующие общие закономерности в проявлении сдвигов: наиболее выраженное снижение тонуса наблюдается в мышцах, участвующих непосредственно в поддержании вертикальной позы (мышцы голени, бедра); снижение тонуса сопровождается уменьшением объема массы мышц, уменьшением их силы и выносливости.

Однако наряду с достаточно известными и хорошо прогнозируемыми на основании экспериментальных исследований изменениями нейромышечной системы после 18-суточного полета выявлены и некоторые новые особенности в ее реакциях. Прежде всего обращает на себя внимание значительная степень выраженности расстройств. Величина снижения тонуса мышц, их силы, уменьшение периметров голени и бедра, снижение веса тела, биохимические изменения позволяют предполагать, что недостаточность нейро-мышечной системы после полета носит не только функциональный характер, но имеет в своей основе и морфологические изменения, в частности атрофию мышц.

На основании субъективных ощущений космонавтов после полета и данных, полученных при исследовании сухожильно-мышечных рефлексов, можно предположить, что характер сенсорных нарушений в значительной степени обусловлен изменениями в состоянии проприоцепции. В этом, видимо, основное отличие действия невесомости на нейромышечную систему от наземного моделирования ее отдельных эффектов, например постельным режимом.

Сопоставление данных, полученных в модельных экспериментах, с данными послеполетных обследований космонавтов позволяет прийти к заключению о том, что космический полет вызывает более глубокие изменения проприоцептивной чувствительности, чем имитация отдельных его факторов в неземных экспериментах.



Нарушения «афферентной обеспеченности» организма в полете с достаточной полнотой оценить трудно. Однако можно предположить, что более глубокие сдвиги в рефлекторной сфере космонавтов по сравнению с теми же показателями при длительной гипокинезии в условиях постельного режима связаны с тем, что на земле невозможно полностью исключить афферентацию с гравирецепторов, в то время как в космосе она значительно ослабевает. Недостаточная тонизация центральной нервной системы афферентными импульсами в полете, по всей вероятности, снижала уровень взаимодействия центральных структур с эффекторными органами. Частным проявлением этих изменений, по-видимому, явилась асимметрия сухожильных рефлексов с правосторонним их преобладанием. В совокупности с другими неврологическими проявлениями (Молчанов и др., 1970) этот факт, по-видимому, указывает на недостаточность пирамидной системы.

Испытываемое после полета чувство увеличения веса собственного тела и различных предметов, с которыми космонавты манипулировали, вероятно, связано со значительным снижением порога возбудимости гравирецепторов мышц и кожи. На это указывает возросшая после полета амплитуда сухожильных рефлексов при неизменной силе наносимого удара. Подобные изменения следует, вероятно, целиком отнести к эффектам невесомости.

Гиперреактивность сухожильных рефлексов отметили и американские исследователи в полете и послеполетном периоде у космонавтов первого и второго экипажей орбитальной станции «Скайлэб» (Ross, Hordinsky, 1973).

Выявленные нами особенности изменений в двигательной сфере космонавтов согласуются с результатами исследований мышечной системы и ее коррелятов, выполненными американскими исследователями по программам «Аполлон», «Скайлэб». Так, у всех 18 обследуемых членов экипажей кораблей «Аполлон-7, 8, 9, 10, 11, 15» после полетов отмечено уменьшение периметров голени от 0,25 до 2,0 см. При этом возвращение величины периметра к предполетным значениям происходило медленнее, чем восстановление веса тела (Johnson, 1971). Постепенная атрофия скелетных мышц, по мнению американских исследователей,— одно из самых закономерных проявлений эффекта невесомости. Это подтверждается отрицательным балансом Ca, P, N, уменьшением выносливости, объема и силы мышц. Уменьшение задержки K в организме связано с параллельными потерями N, P, Mg, Ca и свидетельствует об общем катаболическом состоянии организма, влияющим главным образом на скелетно-мышечную систему» (Leach et al., 1973).

Таким образом, данные, полученные в ходе обследования членов экипажей кораблей «Союз», свидетельствуют об изменении опорной функции в результате воздействия условий космического полета, что проявилось как в деавтоматизации сложных двигательных навыков и изменении характера позно-пространственной деятельности, так и в сдвигах в самом опорно-мышечном аппарате.

## ВЕСТИБУЛЯРНЫЕ РЕАКЦИИ

Космический полет корабля «Восток-2» с развитием выраженных вестибулярно-вегетативных расстройств у космонавта Г. С. Титова явился стимулом дальнейшего изучения вестибулярной функции. Достаточно сказать, что количество печатных работ, посвященных вестибулярному анализатору, резко возросло в период 1966—1971 гг. С научных позиций указанный период характеризовался плодотворными изысканиями в области методологии, новыми подходами в оценке вестибулярно-вегетативных реакций, а также формированием целого ряда концепций и представлений, пытающихся объяснить патофизиологические механизмы наблюдаемых в космосе вегетативных расстройств и иллюзий пространственного положения, понять их истинную природу (Воячек, 1946; Graybiel, 1967, 1968, 1969; Юганов, 1962, 1965, 1973; Емельянов, 1962, 1966, 1972; Комендантов, 1962, 1963, 1972; Брянов, 1963; Хилов, 1964, 1969; Berry, 1966, 1967, 1969, 1970, 1971, 1973, 1974; Reason, 1969; и др.).

Значительные усилия ученых были направлены также на решение практических задач профессионального отбора, подготовки космонавтов, профилактики и лечения указанных явлений (Емельянов, 1962, 1968; Юганов, 1965; Яковлева и др., 1974; Гуровский и др., 1965; Брянов и др., 1970; Маркарян, Сидельников, 1970; Курашвили, Бабияк, 1974; и др.).

К настоящему времени из 75 человек, совершивших полеты в космос, у 25, т. е. у каждого третьего, наблюдались симптомы болезни движения различной степени выраженности от неприятных ощущений тяжести в животе до тошноты и рвоты, а у 14, т. е. почти у каждого пятого, имелись иллюзорные ощущения положения тела. Симптомы болезни движения, или «космического укачивания», возникали в различное время полета (от первых минут до седьмого дня) и держались различные сроки (от 3 час. до нескольких суток). Во всех случаях развитие этих симптомов было связано с резкими движениями головой, особенно в первые сутки полета.

В полетах на кораблях «Восток» вегетативная симптоматика наблюдалась у двух, а иллюзорные ощущения у трех космонавтов. При полетах на кораблях «Восход» подобные нарушения имели место соответственно у одного из двух человек. В полетах по программе «Меркурий» у двух астронавтов были иллюзорные ощущения. В серии полетов по программе «Джемини» у американских астронавтов не наблюдалось каких-либо расстройств вестибулярной системы, поэтому стали появляться высказывания о том, что вестибулярная проблема потеряла для космоплавания свою актуальность. Однако вскоре при полетах на кораблях «Аполлон» у значительной части американских астронавтов (у 9 из 33) стали обнаруживаться симптомы, сходные с укачиванием, причем у трех в сильной степени, со рвотой, а у двух, кроме того, наблюдались иллюзии переворачивания и падения (Dietlein, 1969; Berry, 1969, 1970, 1972, 1973). Эти факты вновь выдвинули вестибулярную проблему в ряд актуальнейших задач, требующих безотлагательного решения в плане медицинского обеспечения безопасности космоплавателей.

Вполне понятно, что разработка эффективных мер и средств предотвращения космического укачивания не могла быть успешно осуществлена без ясного представления о воздействии невесомости на вестибулярную



систему, полного понимания механизмов развития неблагоприятных вестибуло-вегетативных реакций, их течения и прогноза. Именно эти соображения были положены американскими учеными в основу формирования специального комплекса вестибулометрических исследований в космической программе «Скайлэб». Как известно, эти исследования велись в трех направлениях, а именно: в направлении выявления изменений порогов вестибуло-вегетативной устойчивости под воздействием факторов полета; определения вестибулярной устойчивости к угловым ускорениям в условиях невесомости; оценки влияния факторов полета на точность восприятия пространственных координат.

Этими исследованиями предполагалось вскрыть патофизиологические механизмы вестибулярных расстройств в полете, решить вопросы, касающиеся отбора и подготовки космонавтов, проверить предположение о ведущей роли отолитовой деафферентации в генезе космической формы укачивания (Хилов, 1969; Graybiel, 1971; и др.), а также дать оценку концепции о невесомости в качестве «минуса-раздражителя» вестибулярных рецепторов (Юганов, 1965). В этих исследованиях американские ученые предполагали также получить необходимую информацию о роли афферентных систем в механизме вегетативных нарушений. Однако полученные данные в экспериментах на «Скайлэб» не дали прямого ответа на поставленные вопросы. Они продемонстрировали в первую очередь широкую индивидуальность ответных реакций на соответствующие воздействия; не удалось выявить корреляции уровней вестибулярной устойчивости при проведении вестибулометрических исследований на Земле и в космосе, не были получены подтверждения эффективности предварительной наземной тренировки. Неожиданным оказалось то обстоятельство, что вестибулярные пороги (купулярной системы) в условиях невесомости не только не понизились, как предполагалось, но даже обнаружили определенную тенденцию к повышению. Не было отмечено существенных изменений пространственной ориентации. Вместе с тем еще раз подтвердилось, что в первые 3—5 дней полета у некоторых космонавтов возникает болезненное состояние, напоминающее синдром вестибулопатического криза.

Приведенные сведения представляют, как нам кажется, определенный интерес для обсуждения вестибулярных аспектов применительно к программе исследований на кораблях «Союз».

Космонавты регулярно регистрировали свои ощущения, возникающие в покое, а также в связи с двигательной активностью при выполнении различных рабочих операций. Анализ собственных ощущений космонавтами во время полета, результаты клинического обследования их тотчас после приземления и сопоставление этих данных с материалами предполетного обследования показали, что комплексное воздействие факторов полета, в том числе и 18-суточного, не вызвало грубых патологических изменений в состоянии здоровья. Вместе с тем из 22 космонавтов более или менее выраженная вестибуло-вегетативная симптоматика (от ощущения дискомфорта при движении головой до рвоты) была у девяти человек, у семи наблюдались различной степени выраженности сенсорные нарушения.

Иллюзии характеризовались различно: «ощущение смещения приборной доски при вхождении в невесомость» (А. Г. Николаев), «ощущение

перевернутого положения тела» (П. И. Климук, В. В. Лебедев и др.), «продолженного движения» в момент выключения двигательной установки (В. И. Севастьянов). П. И. Климук, О. Г. Макаров, В. В. Лебедев и др. в первые часы и сутки полета отмечали ощущения, напоминающие головокружение, усиливающееся в связи с двигательной активностью. Это ощущение иногда сопровождалось легким поташниванием, некоторой слабостью, появлением желания отдохнуть и не двигаться.

Резкие движения головой, особенно в первые сутки полета, вызывали у большинства космонавтов ощущение «нагрузки» на вестибулярный анализатор, которое не было похоже ни на одно из земных воздействий. Некоторые космонавты, напротив, подчеркивали, что выполнение физических упражнений в полете с резкими наклонами туловища и при фиксации ног вызывало у них ощущения, идентичные тем, которые они обычно испытывали на Земле при вестибулярных пробах с кумулятивным воздействием сил Кориолиса. У одного космонавта (П. И. Климук, «Союз-13») ощущение «вестибулярной нагрузки» при двигательной активности (выполнение рабочих операций) сопровождалось выраженным вегетативным симптомокомплексом. Явления нарастали по мере увеличения скорости и объема наклона головы и туловища и уменьшались при ограничении движений. Подлежит особому вниманию следующий примечательный факт, который прослеживается во многих полетах: вегетативные расстройства следуют как тень вслед за изменением гемодинамики. Они начинаются с появления «прилива крови к голове» и постепенно угасают по мере того, как организм адаптируется к этим условиям. Почти все космонавты, и особенно В. Г. Лазарев и О. Г. Макаров («Союз-12»), подчеркивают, что ощущение «нагрузки на вестибулярный аппарат» начинает возникать не тотчас же при «вхождении» в невесомость, а исподволь, именно в период развития «прилива крови к голове», через 20 мин.— 1 час после начала действия невесомости. Важно подчеркнуть, что само по себе «вхождение» в невесомость и первый момент пребывания в ней не только не вызывает ощущения нагрузочного воздействия на вестибулярный аппарат, но, напротив, сопровождается ощущением легкости и комфорта (В. И. Севастьянов, В. Г. Лазарев, Н. Н. Рукавишников, О. Г. Макаров, В. В. Лебедев и др.).

В целом вегетативные расстройства достигают своей кульминации на уровне наиболее выраженных гемодинамических сдвигов и характеризуются усилением неприятных ощущений при двигательной активности, именно при тех движениях, которые влекут за собой изменения положения тела и головы. Констатированы также явления адаптации. Процесс привыкания имеет сугубо индивидуальные особенности, отличаясь не только продолжительностью, но и характером вестибулярных реакций, определенные различия отмечаются в субъективной оценке ощущений при наклонах и поворотах туловища во время стабилизированного полета и во время «закрутки» корабля. Продолжительность периода адаптации к условиям полета по субъективным ощущениям также различна — от одних суток (А. Г. Николаев) до 3—5 суток (В. И. Севастьянов, П. И. Климук). Вместе с тем не может быть оставлен без внимания и тот факт, что вегетативные расстройства в полете отличаются, как правило, бо́льшей интенсивностью именно у тех космонавтов, которые по данным наземных исследований характеризовались как менее вестибуло-



устойчивые или имеющие средний уровень устойчивости, но обладающие высокой способностью повышать ее посредством тренировок. Кроме того, вестибулярные расстройства не возникали у лиц с высоким уровнем вестибулярной устойчивости. Так, космонавты А. Г. Николаев, В. Ф. Быковский и многие другие не испытывали в космическом полете вегетативных расстройств, обладая высоким уровнем вестибулярной устойчивости, определяемой наземной вестибулометрией.

В полетах на космических кораблях «Восток» и «Восход» делались попытки, в пределах допустимых возможностей, проанализировать постуральные рефлексы и вестибуло-двигательные реакции при помощи специально разработанных тестов. Пробы, применявшиеся для изучения вестибулярной функции по нистагменной реакции и двигательной активности глаз, не выявили существенных изменений.

Полученные материалы легли в основу разработки новой системы вестибулярного отбора, а также определили целесообразность специальной подготовки космонавтов методами активной и пассивной тренировки вестибулярного анализатора. В дальнейшем, при формировании программы «Союз», значительный удельный вес занимали исследования, направленные на решение следующих задач:

1) изучение функционального состояния вестибулярного анализатора в условиях невесомости;

2) определение роли кориолисовых ускорений и значения их кумулятивного эффекта в генезе симптомокомплекса вегетативных расстройств;

3) выявление механизмов иллюзорных ощущений пространственного положения, отражающих нарушения функциональной системности анализаторов;

4) оценка возникающей при вращениях космических кораблей центробежной силы по ее влиянию на состояние и работоспособность космонавтов;

5) дальнейшее накопление фактических данных по сопоставлению вестибулярной устойчивости, определяемой наземными экспериментальными методами и переносимостью космического полета, с целью возможности прогнозирования вестибулярных расстройств.

Важной особенностью космических кораблей «Союз» являлось их запрограммированное вращение в течение 80—85% времени полета с угловой скоростью до 3°/сек. При движении головой и туловищем в кабинах относительно больших размеров должны были возникнуть ускорения Кориолиса в дополнение к почти постоянному действию центростремительных ускорений на фоне невесомости. Максимальные величины ускорений Кориолиса укладывались в рамки 0,008—0,025 см/сек$^2$.

Центростремительные ускорения в зависимости от положения космонавта относительно центра вращения выражались цифрами 0,0027—0,0108 м/сек$^2$. Если сопоставить эти величины с литературными сведениями о пороговых значениях указанных ускорений, то можно квалифицировать их как близкие к пороговым. Следовательно, условия для кумуляции подобных раздражений в вестибулярных центрах имели место.

Во время полетов кораблей «Союз» проводились следующие исследования вестибулярной функции:

1. Определение изменения чувствительности вестибулярного анализатора по величине и характеру вестибуло-двигательной реакции модифи-

цированным методом вертикального письма при воздействии ускорений Кориолиса (Fucuda, 1959; Бохов и др., 1966; Лукомская, Никольская, 1971).

Модификация методики заключалась в применении бортового прибора «Планшет», имеющего вертикально расположенную панель для записи и обеспечивающего подачу бумажной ленты.

Исследования производились сразу после выпрямления головы и туловища с определенной скоростью после наклона по направлению радиуса вращающегося корабля в сагиттальной или фронтальной плоскости космонавта.

2. Определение кумулятивных воздействий ускорений Кориолиса на развитие вегетативных симптомов у космонавтов в полете во вращающемся корабле при помощи выполнения серий движений головой и туловищем (на кораблях «Союз-6, 7, 8»). Все космонавты регистрировали свои ощущения, возникающие в связи с их двигательной деятельностью в полете и при различном положении головы и тела к вектору центробежной силы, с тем чтобы установить скорость, объем, направление движений и положения тела, способствующих наименьшему или наибольшему раздражению вестибулярного аппарата.

3. Оценка характера, точности и значения постуральных механизмов пространственной ориентации в невесомости при помощи зрительного и незрительного определения вертикальных и горизонтальных координат внешнего пространства (оси объекта) в условиях безориентированного поля и различной по величине тактильной информации (Graybiel, Miller, 1967; Schöne, 1964; Graybiel, 1967).

Исследования производились при помощи прибора «Вертикаль» в положении стоя и лежа с фиксацией и без фиксации ступней ног (корабль «Союз-9»). Устройство прибора позволяет при помощи дистанционного и рычажного управления производить зрительное и тактильное определение, а также автономную регистрацию положения субъективных координат пространства.

При анализе записей вертикального письма было выявлено значительное увеличение углов отклонения. Полученные максимальные (20—35°) и средние (12—15°) отклонения можно сравнить с результатами аналогичных наземных исследований при вращении с угловой скоростью 30—60°/сек, где величина ускорений Кориолиса превышала пороговое значение и была равна от 0,08 см/сек$^2$ до 0,16 см/сек$^2$. Таким образом, сопоставление величин ускорений Кориолиса и результатов вертикального письма позволяет говорить об усилении вестибуло-тонического рефлекса в полете при воздействии малых ускорений Кориолиса. Увеличение вестибуло-тонической реакции в свою очередь указывает на повышение чувствительности купуло-эндолимфатической системы к ускорениям Кориолиса в невесомости. Вместе с тем, оценивая результаты выполнения в полете исследований с серией дозированных движений головой и туловищем, космонавты отмечали, что рекомендованный методикой темп наклонов (30°/сек) независимо от направления движения и положения не вызвал никаких ощущений раздражения вестибулярного аппарата. Однако выполнение резких движений головой (со скоростью 90°/сек, т. е. в темпе 1 движение за 1 сек.) вызывало слабо выраженные характерные ощущения раздражения вестибулярного аппарата.



Постоянное изменение направления вектора и величины различных ускорений, действующих на вестибулярный аппарат космонавта при перемещениях в корабле, является обстоятельством, усугубляющим кумулятивный эффект ускорений Кориолиса.

Среди информации о полете, полученной от космонавтов, большой интерес представляют сведения о значении зрительного и тактильного контроля в пространственной ориентации. Космонавты указывали, что во время полета в условиях полной темноты или при свободном плавании в кабине с закрытыми глазами наступает состояние полной дезориентации. Лишь тактильные ощущения дают представления о положении тела в кабине. Эти наблюдения подтверждают мнение о важной роли в возникновении пространственных расстройств в невесомости изменений импульсации с гравирецепторов отолитового аппарата и других рецепторных зон при выключении зрительного контроля.

Исследования на приборе «Вертикаль» показали, что в космическом полете очень быстро наступает адаптация к отсутствию ощущений гравитационной вертикали. Об этом свидетельствует незначительное увеличение систематических ошибок при определении вертикальных и горизонтальных координат в полетных экспериментах по сравнению с наземными (в среднем на 6—10°), а также высокая работоспособность и приспособляемость космонавтов к необычным условиям обитания в невесомости. Можно говорить, что наиболее точная ориентация в космическом полете осуществляется преимущественно зрительным анализатором. По-видимому, отолитовые гравирецепторы не играют существенной роли в формировании зрительной пространственной ориентации. В большей степени страдает определение постуральных (незрительных) координат, что отмечается также в первые дни после приземления. Одной из особенностей оценки пространственных координат (оси объекта) в невесомости является совмещение показателей при определении зрительных и постуральных координат, т. е. зрительное восприятие в условиях безориентированного поля оказывается в зависимости от постуральных влияний. В свою очередь, то и другое во многом зависит от степени тактильной информации. Ошибки с фиксацией ног находились в пределах 8—12°, с выключением фиксации ног (касание прибора только головой) увеличились до 17—24°, одинаково как при зрительных, так и при постуральных определениях. Полное отсутствие какой-либо информации о пространственном положении в космическом полете делает невозможным определение координат положения тела. В невесомости тесная функциональная связь тактильного и пропорционального анализаторов, по-видимому, усиливается и представляет основу для построения такой системы взаимодействия анализаторов, которая частично компенсирует выпадение гравитационной функции отолитов при выключении зрения. Все эти рассуждения правомерны лишь применительно к полету в замкнутой кабине с привычными ориентирами.

Исследования также показали, что максимальная величина центробежной силы, возникающей при вращении корабля и выражающейся в тысячных долях g, оказывается недостаточной для формирования эквивалентных земным ощущений верха и низа. Вместе с тем изменения направления действия вектора центробежной силы даже такой величины, действующей в направлении таз — голова, возникают отчетливые неприят-

ные ощущения приливов крови к голове, и перемена положения тела с учетом действия центробежной силы в направлении голова — таз значительно уменьшает подобные ощущения. Отмеченные явления могут быть также объяснены значительной величиной гравитационного градиента (свыше 20%) при вращении объекта. Гемодинамические сдвиги в центральном кровообращении («приливы к голове») могут усугубляться действием незначительных по величине центростремительных ускорений в невесомости.

Таким образом, анамнестические данные у космонавтов в полете и проведенные исследования свидетельствуют, во-первых, об активности в невесомости купуло-эндолимфатической системы, снижении порогов ее чувствительности, что, возможно, определяется изменением функционального состояния рецепторов отолитовой системы. По мере адаптации, согласно данным Гвальтьеротти (Gualtierotti, 1969), импульсная активность стереоцепторов восстанавливается (примерно к 6—7 дню). Более медленный процесс адаптации, видимо, продолжается до 12 дней. Следовательно, учитывая правомерность понятия «болезни каналов», можно считать достаточно достоверным, что кумулятивное воздействие ускорений Кориолиса в космическом полете может служить источником развития вегетативной декомпенсации. Иллюзорные ощущения, вероятнее всего, являются следствием нарушения рефлекторного взаимодействия в анализаторах положения и перемещения тела в пространстве (исследования с «Вертикалью»), если имеются условия недостаточной компенсации дисбаланса в афферентации с гравитационных аппаратов, с одной стороны, и со стороны органа зрения — с другой, а также тактильных ощущений.

Некоторые космонавты отмечали изменения в деятельности и других анализаторов. В частности, А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов сообщали о притуплении вкуса и обоняния в полете. У В. В. Лебедева на четвертый и шестой дни полета отмечались явления ирритации слуховой системы по типу слуховых галлюцинаций. Космонавт отчетливо слышал звучание определенной мелодии. Все эти факты свидетельствуют о наличии нарушений во взаимодействии афферентных систем в невесомости.

Среди существенных концепций о генезе вестибуло-вегетативных расстройств в космическом полете ведущее место занимает точка зрения о нарушении взаимодействия афферентных систем в условиях невесомости (Емельянов, 1962; Комендантов, 1962, 1963; и др.), с которой согласуется известная теория Ризона (Reason, 1969) и Стила (Steele, 1963), объясняющая генез болезни движения перестройкой в сенсорной сфере в результате афферентных конфликтов и, в частности, нарушением синергизма в зрительно-инерционной и каналоотолитовой системах.

Вместе с тем можно констатировать, что конфликты в сенсорной сфере далеко не всегда приводят к вестибуло-вегетативным расстройствам. По-видимому, наличие только одной конфликтной ситуации в сенсорной сфере оказывается недостаточным для развития вестибуло-вегетативных нарушений. Необходимы какие-то еще дополнительные условия или действия определенных факторов, предопределяющих развитие вестибулярных кризов. Нельзя недооценивать функциональные состояния эффекторного звена рефлекса.

Исследованиями М. Д. Емельянова и А. Н. Разумеева (1972) показано, что при однотипных вестибулярных расстройствах импульсная



активность дыхательных и сосудо-двигательных нейронов существенно меняется в зависимости от их функционального фона, который можно изменить при помощи медикаментозных средств (этапиразин, лобелин), иной газовой среды или воздействием электрического тока.

Теми же авторами установлена существенная роль клеток Пуркинье коры мозжечка в реализации вестибуло-вегетативных рефлексов, в частности, в торможении ядер Дейтерса. Заслуживает внимания гемодинамический компонент реакций организма в невесомости.

Если привлечь для объяснения вестибуло-вегетативных расстройств некоторые факторы, имеющие отношение к гемодинамике, специфическому перераспределению крови и жидких средств, возникающему в условиях невесомости, то эти сведения позволяли также в определенной мере объяснить и некоторые, казавшиеся ранее противоречивыми факты и не вполне объяснимые феномены с позиции концепций о «деафферентации лабиринта» (Хилов, 1964, 1969), «минус-раздражителе» (Юганов и др., 1968), «сенсорных конфликтах» (Reason, 1969) и др.

Новые данные о гемодинамических сдвигах, возникающих в организме человека в невесомости, позволяют в несколько ином аспекте объяснять патофизиологические механизмы наблюдаемых в космосе вестибуло-вегетативных расстройств.

Имеются достаточные основания полагать, что в невесомости, наряду с возникновением сенсорного конфликта, функциональной деафферентации отолитовой системы и нарушением в связи с этим взаимодействия отолитово-купулярной систем, подключается новый фактор, создающий своеобразный фон, предрасполагающий к развитию вестибулярного криза. Этим дополнительным фактором являются гемодинамические нарушения, обусловленные перераспределением крови в невесомости (Москаленко и др., 1972). Именно венозное полнокровие в системе мозгового кровообращения является предрасполагающим механизмом в развитии нарушений ликворно-эндолимфатической динамики (Москаленко и др., 1972). Наиболее отчетливые изменения ликворно-эндолимфатической динамики с развитием расстройств в системе вестибулярного анализатора происходят в случае, когда венозный застой и нарушение гемодинамики развиваются в вертебробазиллярной системе.

В космическом полете, именно в первые дни пребывания в условиях невесомости, возникают характерные гемодинамические сдвиги, обусловленные перераспределением крови, наличием венозного застоя в системе мозгового кровообращения. Подтверждением этого является возникновение в космическом полете у космонавтов инъекции сосудов склер, конъюнктивы, ощущение тяжести в голове. Все это свидетельствует о том, что в гемодинамике сосудистой системы головного мозга происходят определенные изменения. При этом можно говорить даже о микроциркулярных расстройствах, проявляющихся нарушением гемодинамики на тканевом и межклеточном уровне, что подтверждается появлением одутловатости лица, отмечаемой большинством космонавтов, характерными данными офтальмодинамометрии, а также данными реографии, полученными при обследовании космонавтов после космического полета и испытуемых при антиортостатическом воздействии. Как уже указывалось, дистонические изменения в системе вертебробазиллярной артерии, особенно с преобладанием венозного застоя, влекут за собой не только

изменения в состоянии вестибулярных ядер, но и определенные нарушения внутрилабиринтной гидродинамики с преобладанием гидропса (Decher, 1963; Москаленко, 1971; Григорьев, 1972; Калиновская, 1973; и др.). В этой связи не может быть оставлено без внимания сообщение американских исследователей (Берри, 1973) о том, что их астронавт Шепард («Аполлон-14»), страдавший до полета болезнью Меньера, которому было сделано шунтирование эндолимфатического мешка, не испытывал в дальнейшем вестибуло-вегетативных расстройств в космическом полете. Из клинических данных также известно, что развитие дисбаланса в ликворной системе головного мозга наряду с головной болью может проявиться в виде вестибуло-сенсорных и вестибуло-вегетативных кризов в результате генерализованной ирритации стволовых и корковых структур головного мозга. Приведенные рассуждения согласуются с данными В. В. Усачева и И. Н. Шинкаревской (1972). Авторами показано, что картине укачивания сопутствовали выраженные колебания артериального давления с отчетливым сужением пульсовой амплитуды, изменением удельного периферического сопротивления, снижением ударного объема крови. Во внутричерепном кровообращении снижался уровень пульсового кровенаполнения и артериального тонуса, что четко отражалось на РЭГ.

Возможно, что при укачивании создается своеобразный порочный круг: вестибулярные раздражения ведут к нарушению церебральной и периферийной гемодинамики, что приводит к изменению функционального состояния вегетативных и вестибулярных центров в результате недостаточности кровообращения. В этом случае другая любая причина гемодинамических расстройств (невесомость) будет основой для развития укачивания на фоне даже слабых вестибулярных воздействий (пороговых и подпороговых стимулов).

В свете последних исследований патогенеза и механизма развития вестибулопатий определенное место занимают данные о роли нарушения водно-солевого обмена (Johnson, 1973). Общеизвестным также является факт нарушения водно-солевого обмена и при острых приступах меньероподобных кризов (Циммерман, 1952; Aubry et al., 1957). В этой связи особый интерес представляют данные о дисбалансе ионов калия и кальция в эндолимфе, возникающем во время вестибулярного криза (Johnson, 1973).

Все это приобретает особую значимость в свете общеизвестных концепций о ведущем значении нарушений водно-солевого баланса обмена ионов калия и кальция на тканевом уровне в феноменологии адаптивных реакций организма человека на невесомость.

Таким образом, вегетативные расстройства в невесомости определяются, по-видимому, совокупностью факторов. Нарушение же гемодинамики с определенными микроциркуляторными расстройствами на тканевом и межклеточном уровне, гипертензивная направленность сдвигов, нарушения водно-солевого обмена с тканевым дисбалансом ионов калия и кальция создают наиболее благоприятные условия для развития вестибуло-вегетативных расстройств в невесомости по типу вестибулярных кризов. С этих позиций находят свое объяснение феномены резкого сокращения латентного периода между началом стимула и ответной вегетативной реакцией, что, как известно, характерно именно для меньеровского криза. На такого же рода явления указывается и в до-



кладах космонавтов. Необходимо также заметить, что отсутствие при вестибулярных кризах в невесомости отчетливых вестибуло-соматических рефлексов не противоречит высказанным представлениям, поскольку в клинической практике при вестибулярных кризах сосудистого генеза и даже меньероподобных состояниях далеко не всегда регистрируется нистагменная реакция (Циммерман, 1952; Decher, 1963; Калиновская, 1973; и др.). Кстати, отсутствие нистагма в картине вестибулярных расстройств в космическом полете нельзя считать бесспорным фактором, поскольку фундаментальных исследований в этом направлении не проводилось.

В свете высказанных соображений следует произвести некоторую переоценку препаратов скопомалинового ряда, обладающих, как известно, самым высоким защитным действием против укачивания. Применение этих препаратов в космическом полете при вестибуло-вегетативных расстройствах может оказаться недостаточно эффективным. Действие скополамина, как известно, направлено на блокаду центральных и периферических М-холинорецепторов, поэтому в данной ситуации его влияние на развитие вестибулярных явлений будет ограниченным, поскольку оно не направлено на устранение одной из главных причин расстройств. В этом отношении представляется более перспективным применение препаратов, снижающих гидропс лабиринта. Однако надо иметь в виду, что чрезмерная дегидратация организма в условиях невесомости может иметь нежелательные последствия для организма в целом. Возможно, окажется благоприятным применение гидрокарбоната натрия.

Как известно, механизм действия этого вещества направлен на нормализацию водно-солевого обмена, содержания ионов калия в тканях, повышение щелочного резерва. Можно полагать, что применение гидрокарбоната при вестибуло-вегетативных расстройствах в космическом полете может оказаться достаточно эффективным. Клинические наблюдения, проведенные в Советском Союзе (Потапов, Барнацкий, 1973) при болезни Меньера показали высокую эффективность бикарбоната как лечебного средства. При обсуждении вопроса о лечении и профилактике вестибулярных явлений в космическом полете целесообразно высказать некоторые соображения о предложении некоторых американских лабиринтологов, рекомендующих применение комплекса дозированных движений головой якобы для ускорения процесса адаптации вестибулярной системы к невесомости. По-видимому, это средство воздействия должно применяться крайне осторожно, с учетом протекания общей адаптации организма к гемодинамическим сдвигам и индивидуальных особенностей проявления вестибуло-вегетативных реакций.

Излагаемая концепция о влиянии гемодинамических факторов на генез вегетативных расстройств в космическом полете дополняет известные гипотезы о влиянии невесомости на вестибулярный анализатор. Она не уменьшает значимости вестибулярной проблемы вообще, несмотря на то, что ее исходные предпосылки основаны преимущественно на экстралабиринтных факторах. Более того, с позиций высказанных соображений может быть объяснено воздействие невесомости на вестибулярную систему, как пускового начала, определяющую вестибулярную окраску расстройств.

Отсюда становится понятным, почему именно вестибулярно-устойчивые субъекты менее подвержены космической форме болезни движения.

8 Заказ № 716

Вместе с тем представленная концепция позволяет также объяснить возможность возникновения вестибуло-вегетативных расстройств у лиц, которые хотя и не относятся к категории вестибулярно неустойчивых, но обладают пониженной адаптивной способностью к перераспределению крови, у этих лиц могут возникать более тяжелые формы гемодинамических нарушений с развитием гипертензивных явлений, а следовательно, и созданием более благоприятных условий для возникновения вестибуло-вегетативных нарушений. Таким образом, плохая адаптивная реакция к перераспределению крови как бы «снижает» уровень вестибулярной устойчивости.

Опыт космических полетов по программе «Союз», а также материалы модельных экспериментов показали, что лица с высокой вестибулярной устойчивостью обладают более высокой стабильностью гемодинамики при вестибулярной стимуляции, лучше переносят воздействия факторов космического полета и легче адаптируются к ним. Все это позволяет утверждать, что в общей программе медицинского отбора космонавтов вестибулярный отбор должен по-прежнему занимать важное место.

Учитывая характерную избирательность вестибулярной системы в реагировании на различные адекватные стимулы, целесообразно при отборе применять их комплекс с расчетом воздействия на различные звенья вестибулярного аппарата. Кроме того, необходимо продолжать разработку методов обследования по оценке функционального состояния системы анализаторов положения и перемещения в пространстве, особенно учитывая такой компонент реакций, как иллюзии. Не менее важным направлением отбора космонавтов следует также считать характеристику гемодинамики в различных сосудистых руслах (церебральное, периферическое кровообращение), взаимоотношения соответствующих показателей, результаты исследований гемодинамики в так называемом антиортостатическом положении.

При подведении итогов результатов вестибулометрии, главенствующее место, как известно, занимают вестибуло-вегетативные рефлексы, среди которых особое значение должны приобрести такие интегративные показатели гемодинамики, как ударный и минутный объемы крови, кровонаполнение сосудов головного мозга, глубина вызванных расстройств и длительность их восстановления (Брянов и др., 1973).

В настоящее время необходимость проведения вестибулярного отбора космонавтов встречает единодушное признание и расхождения касаются лишь некоторых методических подходов и критериев оценок. Что же касается необходимости вестибулярных тренировок, то эта позиция многими оспаривается.

Опыт полетов по программе «Союз» с широким использованием системы вестибулярной тренировки позволяет считать такой подход весьма целесообразным. По существу, с введением комплексно вестибулярной тренировки в полетах на кораблях «Союз», за исключением корабля «Союз-13», выраженных вестибуло-вегетативных расстройств не было.

Целесообразность проведения вестибулярных тренировок определяется также и тем, что систематически применяемые дозированные вестибулярные нагрузки, повышая вестибулярную устойчивость, нормализуют ответные реакции организма на адекватный стимул.



Это достигается воздействием не одного какого-либо раздражителя, а их комплексом. Вестибулярные тренировки представляются важными также и потому, что они оказывают нормализующее влияние на гемодинамические реакции при вестибулярных стимулах.

Наиболее эффективным является сочетание так называемых активных и пассивных видов тренировок, т. е. чисто вестибулярных воздействий, воспроизводимых на стендах (пассивные тренировки) и физических упражнений, включающих в себя элементы, стимулирующие различные звенья вестибулярного анализатора (активные тренировки).

Комплексные воздействия при тренировках важны еще и потому, что они позволяют космонавтам не только ознакомиться и оценить необычные для повседневной жизни ощущения, но и выработать для себя определенную систему самоконтроля, психологически подготовиться к возможным состояниям дискомфорта в реальных условиях полета. В этом отношении показательны высказывания многих космонавтов, в том числе К. П. Феоктистова и О. Г. Макарова, которые подчеркивают необходимость включения в программу подготовки (организма) к космическим полетам цикла вестибулярных тренировок.

Система вестибулярных тренировок предусматривает применение следующих основных принципов:

1. Тренировкам должно предшествовать исследование вестибулярных реакций на адекватные раздражения, направленные на определение «вестибулярного статуса» (вестибулярный паспорт).

2. Тренировки должны включать комплекс адекватных и неадекватных раздражителей, направленных на повышение устойчивости и вестибулярного анализатора и взаимодействующих с ним систем (зрительный анализатор, проприоцептивная система, интерорецепторы и др.).

3. Тренировочная программа должна быть строго индивидуальна с учетом наиболее слабого звена вестибулярной системы и вида раздражителя.

4. Комплекс тренировочных воздействий не должен носить характер чрезмерных нагрузок, могущих вызвать перенапряжение регуляторных механизмов, а следовательно, и условно-рефлекторного закрепления и неблагоприятных реакций.

5. Тренировки должны проводиться систематически с постепенным увеличением нагрузки.

6. Активные методы должны сочетаться с пассивными.

7. В процессе тренировочных воздействий должна осуществляться качественная и количественная оценка результатов тренировок, позволяющая регламентировать виды нагрузок и характеризовать динамику выработанных качеств.

Вестибулярная подготовка членов экипажей кораблей типа «Союз» входила в комплекс мероприятий, направленных на повышение устойчивости организма к факторам космического полета и проводилась с учетом опыта, накопленного при подготовке экипажей к полетам на кораблях типа «Восток» и «Восход».

Основываясь на современных представлениях о генезе спутниковой болезни, профилактика и лечение укачивания у космонавтов проводятся по нескольким направлениям: путем совершенствования космических летательных аппаратов и создания в них оптимальных гигиенических усло-

вий; путем рационализации режима труда, отдыха и питания; применения лекарственных средств; применения специального отбора и тренировки (Крупина и др., 1969; Гуровский и др., 1973).

Проведение всех вышеперечисленных мероприятий прямо или косвенно способствует профилактике и лечению укачивания. Однако только специальный отбор и вестибулярные тренировки, на данном этапе, являются наиболее эффективным средством, прямо направленным на повышение устойчивости вестибулярного аппарата к воздействию факторов космического полета (Хилов, 1933, 1969; Куликовский, 1939; Крупина и др., 1969; Гуровский и др., 1973; и др.).

В практике вестибулярных тренировок космонавтов применяются адекватные раздражители, направленные на стимуляцию обоих отделов лабиринта и функциональную системность анализаторов, воспринимающих пространство и осуществляющих функцию равновесия тела человека. Таковыми являются: линейные, угловые ускорения и ускорения Кориолиса, воздействия на афферентные системы, контролирующие пространственное положение тела человека. Набор методических приемов обширен и в литературе они освещены достаточно подробно (Хилов, 1933, 1969; Воячек, 1946; Емельянов, Юганов, 1962; Брянов, 1963; Маркарян, 1965).

Перед тренировками определялся исходный уровень вестибулярной устойчивости к следующим адекватным вестибулярным раздражителям: к линейным ускорениям — при качании на качелях Хилова (Хилов, 1933, 1934); к кумулятивному воздействию ускорений Кориолиса — при вращении испытуемого на кресле в горизонтальной плоскости и активных наклонах головы и туловища в сагиттальной или фронтальной плоскостях (Брянов, 1963; Маркарян, 1965); к воздействиям угловых ускорений — при вращении испытуемого на кресле в горизонтальной плоскости с угловым ускорением 180°/сек и поочередным раздражением всех полукружных каналов путем установки их в плоскости вращения кресла с последующим переводом кресла на неустойчивую опору (Емельянов, Юганов, 1962); к воздействиям на афферентные системы, контролирующие пространственное положение тела — оптокинетические раздражения в условиях свободного балансирования на неустойчивой опоре (Емельянов, Юганов, 1962).

Исходя из данных оценки устойчивости к каждому виду воздействий, разрабатывалась примерная индивидуальная программа тренировок из расчета выполнения двух тренировок в неделю с постепенным увеличением интенсивности раздражителей. Количество тренировок, назначаемых каждому космонавту, менялось в зависимости от его исходного уровня вестибулярной устойчивости.

Пассивные тренировки с использованием вращающихся кресел, качелей и других стендов проводились на фоне активных вестибулярных тренировок (специальная гимнастика, вращения на лопинге, ренских колесах, акробатические упражнения на батуте, плавание, спортигры) (Архангельский, 1934; Лозанов, 1938; Яроцкий, 1954; Коробков, 1966; Лопухин 1970).

При исследованиях и тренировках учитывались данные врачебного наблюдения субъективных ощущений космонавтов и объективной регистрации ряда физиологических параметров. Производилась интегральная



оценка вестибуло-вегетативной устойчивости. В результате проведенных тренировок комплексная оценка устойчивости космонавтов повысилась и была достаточно высокой (рис. 41).

Как пример индивидуального подхода к тренировкам можно рассмотреть тренировки командира космического корабля «Союз-12» В. Г. Лазарева. При оценке исходного уровня вестибулярной устойчивости воздействие линейных и кориолисовых ускорений он перенес в течение 15 мин.

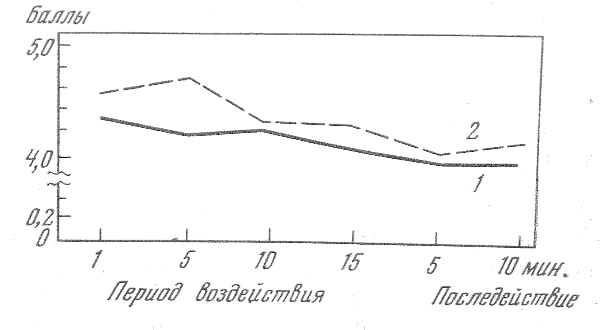



**Рис. 41. Уровень оценки вестибуло-вегетативной устойчивости при воздействии ускорений Кориолиса до тренировок (*1*) и после них (*2*) (средние данные по группе)**

с вегетативными реакциями нулевой степени. Воздействие на афферентные системы, контролирующие пространственное положение тела, он выдерживал в течение 6 мин., при этом отмечались колебания на неустойчивой опоре в процессе оптокинетического воздействия; воздействие угловых ускорений с переводом на неустойчивую опору перенес без вегетативных реакций и нарушения равновесия. Отмечались значительные колебания (до 25% от исходного уровня) некоторых физиологических показателей в процессе воздействия качаний, ускорений Кориолиса и оптокинетических раздражителей. В связи с этим основное внимание при тренировках было уделено этим видам воздействий.

После цикла тренировок перед полетом В. Г. Лазарев все воздействия перенес хорошо, а колебания физиологических показателей были адекватны предъявляемым нагрузкам.

В заключение необходимо указать, что система тренировок космонавтов вообще и вестибулярные тренировки в частности направлены не только на повышение устойчивости организма к некоторым факторам космического полета, но и на определение перспективности тренируемого для предстоящей деятельности. Следовательно, система тренировок является дополнительным инструментом отбора. Определяющими в этом направлении являются не только показатели возможности повышения устойчивости посредством тренировок, но и данные о способности удерживать новый выработанный уровень устойчивости (стереотип).

Последнее обстоятельство требует периодических контрольных испытаний, особенно при наличии в анамнезе выраженных реакций на стрессовые воздействия.

# Глава 10. ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ НА КРОВООБРАЩЕНИЕ И ГАЗООБМЕН ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ И ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМ В ПОКОЕ И ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Перед началом полетов космических кораблей «Союз» предполагалось, что адаптация человека к условиям невесомости и к ограничению двигательной активности (гипокинезии) вызовет определенную перестройку функциональных систем организма и прежде всего сердечно-сосудистой системы. Если эта адаптация могла, по-видимому, оказаться даже целесообразной для специфических условий космического полета, то при возвращении на Землю организму человека потребуется вновь адаптироваться (реадаптироваться) к гравитации. Основные изменения ожидались со стороны кардио-респираторной системы.

Исследования проводили в условиях покоя и при физических нагрузках, исходя из того, что нагрузка не должна быть слишком тягостной для обследуемого, так как в противном случае при возможном ухудшении состояния космонавт не сможет полностью выполнить работу и сравнение результатов пред- и послеполетной функциональной пробы будет затруднено, и в то же время нагрузка должна была вызывать выраженные сдвиги со стороны дыхательной и сердечно-сосудистой систем.

Исходя из перечисленных выше требований, при обследовании всех членов экипажей кораблей «Союз» были использованы физические нагрузки средней тяжести (600—800 кгм/мин в течение 7 мин.), выполняемые на велоэргометре в положении сидя при ритме вращения педалей 65±5 об/мин. Исследования реакции сердечно-сосудистой и дыхательной систем членов экипажей космических кораблей проводились за 20—30 дней до старта и примерно через сутки после приземления. Исключение составили экипажи кораблей «Союз-8», «Союз-12, 13», которые были обследованы через 2—3-е суток.

Пробы с умеренной физической нагрузкой проводили в лабораторных помещениях, во второй половине дня, не ранее чем через 2 часа после приема пищи, при температуре окружающей среды 20—25°. Во время велоэргометрических проб космонавты дышали атмосферным воздухом.

В покое, во время работы и в период 10-минутного восстановления после окончания нагрузок непрерывно регистрировали частоту пульса (ЧП) по электрокардиограмме с грудных отведений, минутный объем дыхания (МОД) при помощи газового счетчика, потребление кислорода ($\dot{V}O_2$) и выделение углекислого газа ($\dot{V}CO_2$) за минуту на автоматическом газоанализаторе [1]. Кислородный пульс рассчитывали по отношению $VO_2$/ЧП.

[1] $\dot{V}O_2$ и $\dot{V}CO_2$ приведены к системе STPD (сухой газ, температура 0°, давление 760 мм рт. ст.), а МОД — к системе BTPS (влажный газ, температура 37°, давление 760 мм рт. ст.).



У членов экипажей «Союз-12, 13» в «устойчивом состоянии» физических нагрузок определяли минутный объем крови при помощи непрерывного контроля за нарастанием содержания $CO_2$ в системе «мешок—легкие» при возвратном дыхании, которое проводили сразу же по окончании 5-й минуты работы в положении сидя. Во время последней процедуры космонавт продолжал вращать педали велоэргометра с той же скоростью (65±5 об/мин). Для расчета МОК использовали величину выделения $CO_2$, зарегистрированную на 5-й минуте нагрузки.

Изучение деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем у членов экипажей кораблей «Союз» проводили, кроме того, в условиях, принятых для определения основного обмена (по утрам, после сна, натощак, в положении лежа). Газоэнергообмен определяли непрямым методом по Дугласу—Холдену, жизненную емкость легких — на водяном спирометре. Для определения силы дыхательной мускулатуры использовали пробу с 15-секундным максимальным дыханием в мешок Дугласа. Минутный объем крови, так же как и при пробах с физическими нагрузками, определяли методом возвратного дыхания сразу же после сбора выдыхаемого газа. Для этого обследуемому предлагали дышать в 5-литровую резиновую емкость, заполненную газовой смесью из 5% $CO_2$, 60% $O_2$ в азоте. Изменения концентрации $CO_2$ в системе «мешок — легкие» прослеживали на «Капнографе», а частоту дыхания регулировали метрономом. Минутный объем кровообращения рассчитывали по формуле Фика:

$$МОК=\dot{V}CO_2/C_{\bar{v}}CO_2-C_{\bar{a}}CO_2,$$

где МОК — минутный объем кровообращения (в л); $\dot{V}CO_2$ — выделение $CO_2$ в покое или в «устойчивом состоянии» физической нагрузки; $C_{\bar{a}}CO_2$ — содержание $CO_2$ (об. %) в артериальной крови (приравнивается к содержанию $CO_2$ в альвеолярном газе); $C_{\bar{v}}CO_2$ — содержание $CO_2$ в смешанной венозной крови (об. %), которую определяли с помощью возвратного дыхания и только в случае отсутствия «плато» — по нарастанию концентрации $CO_2$ в системе «мешок — легкие» экспоненциальным методом Дефареса (Defares, 1958).

## ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕМОДИНАМИКИ, ГАЗООБМЕНА И ЛЕГОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНОГО ОБМЕНА

Примерно через 16—18 час. после приземления у всех космонавтов, находившихся до пяти суток в невесомости, было отмечено закономерное возрастание минутного объема крови в среднем по группе с 4,14±0,13 до 4,74±0,28 л/мин ($P<0,05$). Указанные изменения были обусловлены статистически значимым ($P<0,05$) увеличением частоты сердечных сокращений с 55±2,3 до 63±1,5 уд/мин, поскольку ударный объем крови практически не отличался от предполетного (75,7±3,2 и 74,9±3,7 мл до и после окончания полетов соответственно).

Газообмен и внешнее дыхание исследовали утром после проведенной на Земле ночи и лишь у членов экипажей «Союз-9» и «Союз-15» — на вторые сутки после окончания полетов. У всех космонавтов (кроме

В. И. Севастьянова и А. Г. Николаева) вне зависимости от срока пребывания в невесомости отмечалось существенное возрастание потребления кислорода и выделения углекислого газа, а также минутного объема дыхания. Например, потребление кислорода и выделение углекислого газа увеличилось в среднем по группе с 245±4,4 до 278±4,3 мл/мин и с 211±4,5 до 239±5,5 мл/мин соответственно. Жизненная емкость легких, максимальная вентиляция легких и частота дыхания изменялись разнонаправленно.

У членов экипажа корабля «Союз-9» после 18-суточного орбитального полета не удалось установить какой-либо закономерности изменений изучаемых параметров кровообращения. Так, минутный объем кровообращения у В. И. Севастьянова увеличился с 4,40 до 5,48 л/мин, а у А. Г. Николаева снизился с 4,87 до 4,40 л/мин. Частота сердечных сокращений у обоих космонавтов была равна предполетной. Столь же незакономерно изменялись у них показатели газообмена и внешнего дыхания.

Полученные в краткосрочных полетах данные совпали с результатами клинико-физиологических исследований космонавтов, летавших на кораблях серии «Восток» и «Восход» (Первые космические полеты человека, 1962; Первый групповой космический полет, 1964), а также с экспериментами по моделированию невесомости на Земле (Какурин и др., 1970; Катковский, Пометов, 1971). По мнению А. В. Лебединского и соавт. (1966), комплекс отмеченных выше изменений кардио-респираторной системы укладывается в понятие «реакция выхода» и связан с перестройкой сердечно-сосудистой, нейромышечной, дыхательной и других систем организма человека к новым условиям существования. Наиболее ярким проявлением этой реакции является увеличение частоты сердечных сокращений в покое.

Допустимо предположить, что статистически значимое увеличение потребления $O_2$, выделения $CO_2$, минутного объема дыхания и частоты сердечных сокращений после полетов связано, во-первых, с большим эмоциональным напряжением, а во-вторых, с тем, что окончание полета приходилось на период острой адаптации к невесомости, который, как известно, характеризуется высокой реактивностью и менее совершенными ответными реакциями организма на различные возмущения. Основываясь на результатах 2—5-суточных космических полетов можно было ожидать дальнейшего существенного возрастания показателей газообмена и кровообращения при увеличении длительности полетов. Этого, однако, не произошло. Более того, у В. И. Севастьянова и А. Г. Николаева при обследовании через двое суток после окончания полета частота сердечных сокращений и потребление кислорода существенно не отличались от предполетных величин.

Отсутствие выраженных изменений гемодинамики и газообмена у космонавтов В. И. Севастьянова и А. Г. Николаева могло быть обусловлено тем, что явления астенизации, свойственные периоду реадаптации к условиям Земли, в известной степени оказались сглаженными благодаря проведению комплекса профилактических мероприятий, который выполняли космонавты в процессе полета, и, кроме того, не исключено, что щадящий режим реабилитационных мероприятий, основным компонентом которого явилось весьма значительное ограничение двигательной активности, вызвал менее выраженное напряжение кардио-респираторной системы в раннем послеполетном периоде и, наконец, тем, что эти результаты были получены через двое суток после приземления, когда острота эмоциональных реакций была уже сглажена.



## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ И ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОБ С ФИЗИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ НА ВЕЛОЭРГОМЕТРЕ

При обследовании космонавтов, совершивших орбитальные полеты продолжительностью от 2 до 16 суток, было обнаружено, что в покое сидя на велоэргометре частота сердечных сокращений практически у всех членов экипажей космических кораблей «Союз» (за исключением В. А. Шаталова и В. В. Лебедева) стала выше, чем до полета. Как видно из рис. 42, увеличение частоты сердечных сокращений в покое в основном находилось в прямой зависимости от увеличения продолжительности космических полетов. Так, например, после 2—3 суточных полетов она возросла в среднем на 6%, после 5—8-суточных — на 11%, а после 16-суточного — на 22%. Однако индивидуальные максимальные различия между пред- и послеполетными величинами были отмечены у А. С. Елисеева и Ю. П. Артюхина, один из которых летал двое, а другой 16 суток, и составили у обоих по 18 уд/мин.

Минутный объем дыхания в покое регистрировали лишь у десяти космонавтов. По сравнению с данными предполетной пробы его величины имели очень незначительные и разнонаправленные колебания: от +1,9 до —1,9 л/мин.

Изменения потребления $O_2$ в покое были также разнонаправленны: у семи космонавтов после полета величина его возросла, у восьми практически не изменилась и у троих снизилась.

Как следует из рис. 42, потребление $O_2$ в покое независимо от длительности полетов оставалось в среднем на том же уровне, что и до полета. При этом наибольшее снижение потребления $O_2$ наблюдалось у П. И. Климука (27%) после 8-суточного полета, а наибольшее увеличение — у В. В. Горбатко (32%) после 5-суточного полета. Что касается выделения $CO_2$ в покое, то при послеполетном обследовании у десяти космонавтов величины его оказались выше, у четверых — равны и у четверых — ниже предполетных.

Значения кислородного пульса в покое у 12-и космонавтов в связи с увеличением частоты сердечных сокращений и малым изменением величин потребления $O_2$ при послеполетном обследовании оказались ниже, чем до полета. У четверых космонавтов кислородный пульс не претерпел существенных изменений и лишь у двоих космонавтов (В. А. Шаталов после 3-суточного полета и В. В. Лебедев после 8-суточного полета) его величина возросла за счет более низкой частоты сердечных сокращений при почти неизменившемся потреблении $O_2$. Однако у космонавтов П. Р. Поповича и Ю. П. Артюхина, летавших 16 суток, величина этого показателя в покое при послеполетном обследовании снизилась в среднем на 18%, тогда как у космонавтов, летавших 5—8 суток, она снизилась в среднем на 9%, а у летавших 2—3 суток — на 8% (см. рис. 42).

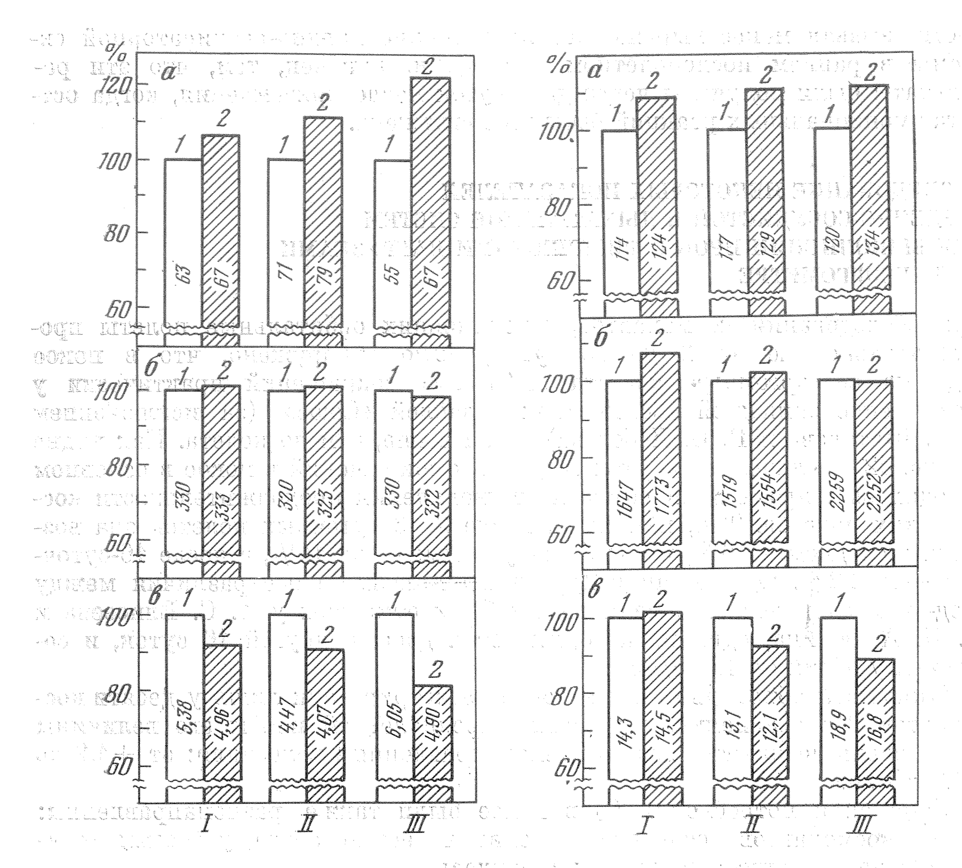



**Рис. 42. Частота пульса (*а*), потребление кислорода (*б*) и кислородный пульс (*в*) экипажей космических кораблей «Союз» в покое, сидя на велоэргометре, до (*1*) и после (*2*) 2—3-суточных (I), 5—8 суточных (II) и 16-суточного (III) полетов**

Предполетные величины приняты за 100%, внутри столбиков приведены абсолютные значения показателей

**Рис. 43. Частота пульса (*а*), потребление кислорода (*б*) и кислородный пульс (*в*) у экипажей космических кораблей «Союз» во время выполнения на велоэргометре умеренной физической работы (5-я минута пробы) до (*1*) и после (*2*) 2—3-суточных (I), 5—8-суточных (II) и 16-суточного (III) полетов**

Предполетные величины приняты за 100%, внутри столбиков приведены абсолютные значения показателей

При сравнении пред- и послеполетных данных, полученных непосредственно во время выполнения на велоэргометре в положении сидя умеренной по интенсивности физической нагрузки, оказалось, что частота сердечных сокращений в «устойчивом состоянии» (5-я минута работы) у пятнадцати космонавтов после завершения орбитальных полетов продолжительностью от двух до 16-и суток, стала выше и лишь у Е. В. Хрунова, Б. В. Волынова и В. Н. Кубасова (совершивших соответственно 2-, 3- и 5-суточные полеты) осталась такой же, как и во время предполетной пробы. При этом, так же как и в покое, была прослежена определенная связь



между учащением пульса при нагрузке и длительностью полета. Так, на высоте нагрузки частота сердечных сокращений у космонавтов, летавших 2—3 суток, стала в среднем на 9%, у летавших 5—8 суток — на 10% и у летавших 16 суток — на 12% выше, чем на соответствующей минуте предполетной пробы (рис. 43).

Прирост частоты сердечных сокращений от уровня покоя до величины, зарегистрированной во время выполнения работы у одиннадцати космонавтов, после полета стал выше, у пяти ниже и у двоих не изменился. Наибольшая разница в приросте частоты сердечных сокращений между пред- и послеполетным обследованием наблюдалась после коротких полетов и составила в среднем 6 уд/мин, тогда как после 16-суточного полета она составила лишь 2 уд/мин.

Минутный объем дыхания во время работы регистрировался у тех же десяти космонавтов, что и в покое. Величина его при послеполетном обследовании у пяти космонавтов возросла, у троих не изменилась и у двоих снизилась. При этом у космонавтов, летавших 2—3 суток, минутный объем дыхания остался в среднем таким же, как и в предполетном обследовании, а у космонавтов, летавших 5—8 суток, возрос на 7%.

Потребление $O_2$ при физической нагрузке до и после полета определяли у 17 космонавтов. В «устойчивом состоянии» работы у 12 из них не было обнаружено заметной разницы, а у 5 остальных членов экипажей космических кораблей «Союз» при пробе, проведенной после окончания полета, наметилась определенная тенденция к повышению величин потребления кислорода.

Из рис. 43, где представлены величины потребления $O_2$ у космонавтов, летавших 2—3, 5—8 и 16 суток, во время выполнения умеренной физической работы на велоэргометре, видно, что потребление $O_2$ после 5—8 и 16-суточных полетов в среднем очень мало отличалось от предполетных значений, тогда как после 2—3-суточных полетов оно возросло в среднем на 8%. Выделение $CO_2$ на той же минуте «устойчивого состояния» у восьми космонавтов после полета возросло, а у девяти осталось практически на том же уровне, что и до полета.

Во время выполнения физической нагрузки величина кислородного пульса при послеполетной пробе у девяти космонавтов почти не изменилась, у семи снизилась и лишь у Л. С. Демина (после 2-суточного орбитального полета) оказалась несколько выше предполетной.

Вместе с тем, если рассмотреть изменение этого показателя в зависимости от длительности пребывания в невесомости, то оказывается, что после коротких полетов величина его в среднем практически не изменяется, после 5—8-суточных полетов снижается на 7%, а после 16-суточного — на 12% (см. рис. 43).

При сопоставлении результатов исследования гемодинамики у космонавтов, совершивших 2—8-суточные полеты, обращает на себя внимание снижение ударного объема крови при выполнении в положении сидя нагрузки мощностью 600—700 кгм/мин. Так, например, у В. Г. Лазарева и О. Г. Макарова, совершивших 2-суточный полет, ударный объем крови оказался ниже зарегистрированного в предполетном периоде при той же нагрузке на 18 и 16,5%, а у П. И. Климука и В. В. Лебедева соответственно на 21 и 6,6%. Минутный объем крови также имел тенденцию к снижению у трех космонавтов и лишь у В. В. Лебедева, несмотря на сни-

жение ударного объема, он возрос на 5% за счет значительного увеличения частоты пульса. Установить же какую-либо закономерность изменений изучаемых параметров гемодинамики в зависимости от сроков полета не удалось. Следует отметить, что у П. И. Климука, совершившего 8-суточный полет, снижение ударного объема сердца было наибольшим и достигало 21%.

На второй минуте восстановления, после выполнения на велоэргометре в положении сидя умеренной по интенсивности физической работы, у четырнадцати из восемнадцати членов экипажей космических кораблей «Союз» частота сердечных сокращений во время послеполетного обследования оказалась выше, чем на соответствующей минуте предполетной пробы. Исключение составили лишь Е. В. Хрунов, В. А. Шаталов, Б. В. Волынов и В. Н. Кубасов, совершившие 2—5-суточные полеты, у которых частота сердечных сокращений на этой минуте пробы после полета практически не отличалась от предполетной.

Сравнивая средние величины частоты сердечных сокращений, полученные на этой минуте пробы во время пред- и послеполетного обследования, можно заметить, что различие между ними увеличивалось прямо пропорционально в зависимости от длительности полета (рис. 44). Так, например, если после 2—3-суточных полетов частота сердечных сокращений на второй минуте периода восстановления возросла в среднем на 15%, то после 5—8-суточных полетов она возросла на 18%, а после 16-суточного полета — на 33%. Разница между частотой сердечных сокращений, зарегистрированной на второй минуте восстановления, и уровнем покоя перед нагрузкой после полета у тринадцати космонавтов оказалась выше, чем до полета, у двоих (Б. В. Волынов и П. И. Климук, совершившие 3- и 8-суточные полеты) — практически не изменилась и лишь у троих космонавтов (Е. В. Хрунов, В. Г. Лазарев и В. Н. Кубасов — полеты 2—5-суточной продолжительности) стала ниже.

Выше указывалось, что минутный объем дыхания регистрировали лишь у десяти космонавтов. На второй минуте восстановления после окончания работы на велоэргометре величина этого показателя у пяти космонавтов стала выше, у троих ниже и у двоих не изменилась по сравнению с величинами, полученными при предполетном обследовании.

Потребление $O_2$ на второй минуте восстановления после физической нагрузки, проведенной по окончании полета, у десяти членов экипажей космических кораблей «Союз» оказалось выше, у четверых ниже и у четверых практически такое же, как и во время предполетного обследования.

Однако, как видно из рис. 44, если после непродолжительных полетов потребление $O_2$ на этой минуте мало отличалось от величин предполетного обследования, то после более длительных полетов оно возросло и различие составило 5 и 6% после 5—8-суточных и 16-суточного полетов соответственно. Выделение $CO_2$ на этой же минуте у одиннадцати космонавтов увеличилось, у троих мало изменилось и у четверых снизилось по сравнению с величинами предполетного обследования.

Величины кислородного пульса на второй минуте восстановления послеполетной пробы у двенадцати космонавтов были ниже, у четверых практически остались без изменений и лишь у двоих космонавтов, со-



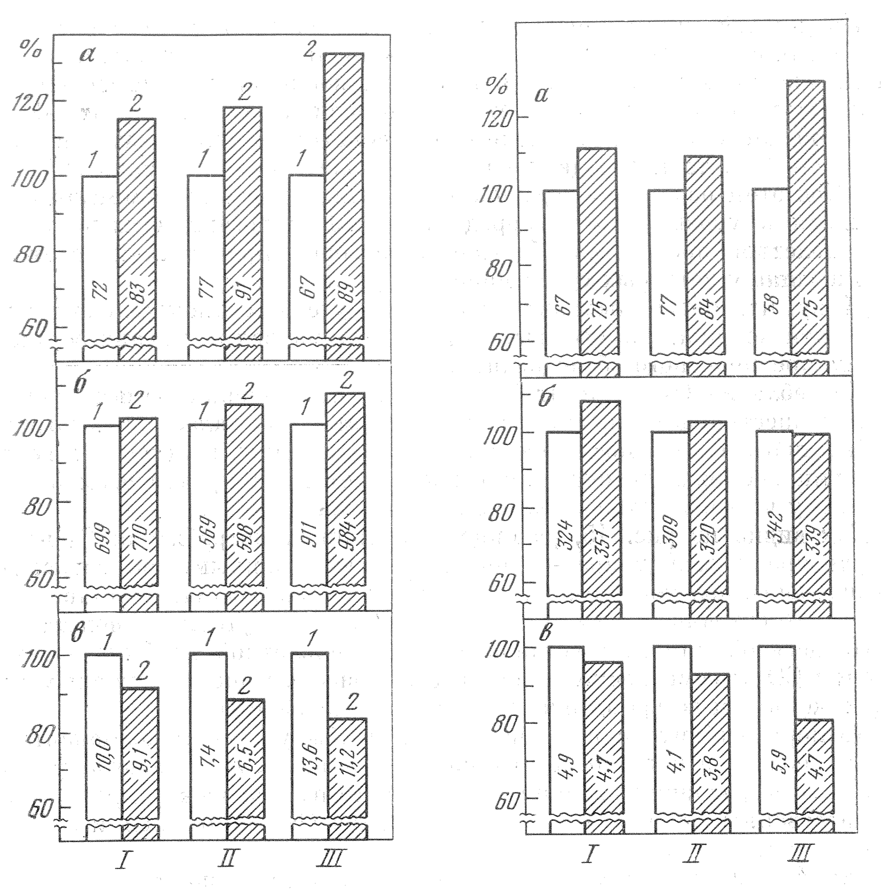



**Рис. 44. Частота пульса (а), потребление кислорода (б) и кислородный пульс (в) у экипажей космических кораблей «Союз» на 2-й минуте восстановления после выполнения на велоэргометре умеренной физической работы до (1) и после (2) 2—3-суточных (I), 5—8-суточных (II) и 16-суточного (III) полетов**

Предполетные величины приняты за 100%, внутри столбиков приведены абсолютные значения показателей

**Рис. 45. Частота пульса (а), потребление кислорода (б) и кислородный пульс (в) у экипажей космических кораблей «Союз» на 10-й минуте восстановления после выполнения на велоэргометре умеренной физической работы до (1) и после (2) 2—3-суточных (I), 5—8-суточных (II) и 16-суточного (III) полетов**

Предполетные величины приняты за 100%, внутри столбиков приведены абсолютные значения показателей

вершивших орбитальные полеты 2—3-суточной продолжительности (Л. С. Демин и В. А. Шаталов), несколько возросли по сравнению с предполетными данными.

Из рис. 44 следует, что величина этого параметра после полета в большей степени снизилась после длительного пребывания в невесомости: 16-суточный полет вызвал падение кислородного пульса на этой минуте пробы на 21%; 5—8-суточный — на 12% и 2—3-суточный — всего на 9%.

На десятой минуте восстановления при послеполетной пробе частота сердечных сокращений у тринадцати космонавтов была выше, чем во время предполетного обследования и у пяти космонавтов изменилась очень незначительно. Интересно отметить, что если после полетов от 2-х до 8-суточной длительности различие с предполетными величинами не превышало 9—12%, то после двухнедельного полета оно составило 29% (рис. 45). При этом разница между частотой пульса на десятой минуте восстановления и уровнем покоя перед нагрузкой у десяти космонавтов при послеполетной пробе стала больше, у четверых практически не изменилась и лишь у четверых стала ниже предполетной.

Минутный объем дыхания на этой минуте восстановительного периода у пяти космонавтов был выше, у троих снизился и у двоих остался на уровне предполетного обследования.

Потребление $O_2$ на десятой минуте восстановления регистрировалось лишь у шестнадцати космонавтов. При этом оказалось, что во время пробы, проведенной после окончания космических полетов, уровень его у восьми космонавтов оказался выше, у четверых практически не изменился и у четверых стал ниже, чем до полета.

Как видно из рис. 45, разница в величинах потребления $O_2$ на этой минуте пробы между пред- и послеполетными данными не зависела от длительности полетов: после 16-суточного полета различие составило 5%; после 5—8-суточного полета — 4% и после 2—3-суточного полета — 8%.

На десятой минуте восстановления послеполетной пробы уровень выделения $CO_2$ у семи космонавтов оказался выше, у шести ниже и у троих такой же, как и во время предполетного обследования.

Кислородный пульс на этой минуте пробы у восьми космонавтов во время послеполетного обследования был ниже, чем до полета, у шести космонавтов различия величин кислородного пульса между пробами были несущественны и только у двоих космонавтов (Б. В. Волынов и В. В. Горбатко) значения его возросли.

Рис. 45 свидетельствует о том, что наибольшее снижение этого показателя произошло после более длительного полета. Так, если после 2—3- и 5—8-суточных полетов различие с предполетными величинами составило 4 и 7% соответственно, то после 16-суточного оно достигло 19%.

Таким образом, при сравнении результатов велоэргометрических проб, проведенных членам экипажей космических кораблей «Союз» после 2—16-суточных орбитальных полетов, было выявлено, что ответная реакция сердечно-сосудистой системы большинства космонавтов на предложенный тест стала менее совершенной. Это проявилось в том, что уже в покое сидя на велоэргометре, т. е. в вертикальном положении, частота сердечных сокращений практически у всех космонавтов стала выше, чем до полета. При этом у большинства космонавтов произошло падение величин кислородного пульса.

Во время выполнения на велоэргометре умеренной по интенсивности физической нагрузки сохранялась та же закономерность, что и в покое, т. е. величины сердечных сокращений, как правило, были выше, а кислородного пульса — ниже, чем на той же минуте нагрузки, проведенной до полета.

Минутный объем крови во время выполнения физической работы определяли только членам экипажей космических кораблей «Союз-12, 13». При этом у всех космонавтов было отмечено снижение ударного объема сердца при проведении пробы после приземления, хотя напряжение сердечно-сосудистой системы, судя по частоте пульса, было бо́льшим, чем до полета.



Учитывая то, что космонавты выполняли работу в положении сидя, трудно выявить истинную причину снижения ударного объема, поскольку это в равной мере могло быть обусловлено ухудшением регуляции сердечной деятельности и снижением сократительной способности миокарда.

Аналогичное снижение ударного объема крови во время выполнения физической работы наблюдали американские специалисты по космической медицине (Michell, 1974, и др.) во время послеполетного обследования членов третьей экспедиции орбитальной станции «Скайлэб». Американские исследователи склонны считать основной причиной этих изменений снижение послеполетной устойчивости организма астронавтов к вертикальному положению из-за несостоятельности механизмов, ответственных за адекватный возврат венозной крови к сердцу. Возможно, что и у советских космонавтов наблюдаемые изменения были обусловлены той же причиной, тем более что сроки полетов были невелики, а пробы с физическими нагрузками выполнялись в положении сидя.

Вместе с тем результаты модельных экспериментов показали, что величина ударного объема крови к концу постельного режима уменьшалась также и во время физической работы, выполняемой в положении лежа (Катковский, Пометов, 1975). Полученные данные свидетельствуют, по-видимому, в пользу того, что и при космических полетах и в модельных экспериментах одной из вероятных причин изменения минутного объема крови и его составляющих может явиться ухудшение сократительной способности миокарда.

В период восстановления после окончания работы на велоэргометре у большинства космонавтов величины частоты сердечных сокращений и, в меньшей степени, потребления $O_2$ были выше, а кислородного пульса ниже, чем на соответствующих минутах предполетного обследования.

При трактовке результатов велоэргометрических исследований следует учитывать недостаточную информативность проб с умеренной физической работой. Известно, что только при помощи предельных нагрузок динамического характера можно наиболее полно раскрыть функциональные возможности сердечно-сосудистой и дыхательной систем (Шепард и др., 1968; Taylor et al., 1955; Astrand et al; 1964; Ouellet et al., 1969). Следует, по-видимому, весьма осторожно интерпретировать полученные данные еще и в связи с тем, что выявленные изменения были, как правило, невелики и зачастую разнонаправленны, хотя они в основном и зависели от продолжительности полета. Учитывая короткий срок пребывания космонавтов в невесомости, эти изменения могли зависеть от индивидуальной устойчивости обследуемых лиц к данному фактору, а также от эмоционального напряжения в связи с окончанием полета.

Тем не менее в результате комплексного исследования кардио-респираторной системы, проведенного как в состоянии покоя, так и при пробах с умеренной физической нагрузкой, удалось установить, что одним из основных факторов, ограничивающих функциональные возможности орга-

низма человека в послеполетном периоде, а следовательно, и в наибольшей степени подверженному влиянию невесомости, является сердечно-сосудистая система и менее всего — дыхательная система. Об этом, в частности, свидетельствует отсутствие послеполетных изменений максимальной вентиляции легких. Так, в среднем по группе из 19 космонавтов, совершивших полеты длительностью от 2 до 16 суток, ее изменения были незначительны и статистически недостоверны (115±4,1 л до полета и 112±4,1 л после полета). После 18-суточного полета изменения этого показателя у двух космонавтов также были разнонаправленны.

Таким образом, полученные данные подтвердили правильность выбранного ранее направления на преимущественное изучение изменений со стороны сердечно-сосудистой системы, развивающихся под влиянием космического полета. Анализ результатов пред- и послеполетного обследования космонавтов, совершивших полеты на кораблях «Союз», указывает на определенные изменения функционального состояния их сердечно-сосудистой системы, выразившиеся прежде всего в менее экономном способе приспособления минутного объема крови к возрастающим при физической работе метаболическим потребностям организма за счет увеличения частоты сердечных сокращений, а не ударного объема крови. Обнаруженные изменения, по всей вероятности, зависят от длительности пребывания в невесомости, а их причины пока точно не установлены.

В заключение следует отметить, что выявленные изменения послеполетной реакции на дозированную физическую нагрузку у членов экипажей космических кораблей «Союз» свидетельствуют о необходимости дальнейшей разработки и тщательного планирования комплекса профилактических мероприятий, направленных в первую очередь на профилактику расстройств со стороны сердечно-сосудистой системы.

## ОРТОСТАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из актуальных вопросов космической медицины является изучение гравитационных циркуляторных расстройств, возникающих в организме человека в результате космического полета. Ортостатические исследования, проведенные после завершения сравнительно непродолжительных полетов, совершенных на кораблях «Восток», «Восход» и «Меркурий», позволили выявить у советских космонавтов и американских астронавтов отчетливое снижение адаптационных способностей системы кровообращения к ортостатическим воздействиям. В связи с этим вопрос о нарушении регуляции кровообращения при ортостатических функциональных пробах приобрел большое самостоятельное значение в космической медицине.

Вертикальное положение тела человека, при котором совпадает направление основных магистральных кровеносных сосудов с вектором гравитации, выработало в процессе эволюционного развития физиологические механизмы венозного возврата крови, противоположного направлению силы тяжести. Для специалистов, занятых решением прикладных задач космической медицины, важнейшее значение приобретают вопросы, связанные с повышением устойчивости аппарата кровообращения к различным экстремальным факторам космического полета и, в первую очередь, к невесомости. В частности, в настоящее время проводятся широкие экспериментальные исследования, направленные на разработку эффективных мер профилактики ортостатической неустойчивости. Природа гравитационных расстройств кровообращения полностью не раскрыта и для ее дальнейшего изучения наиболее перспективным следует признать использование как различных экспериментальных моделей, так и все возрастающих по длительности и сложности реальных космических полетов.



Ортостатическая проба (от греческих слов orthos — прямой, statos — стоящий) заключается в переводе тела из горизонтального в вертикальное положение и в исследовании сдвигов различных физиологических функций, возникающих в результате изменения позы. Основным компонентом данного воздействия является гравитационное поле Земли, составляющая которого в направлении продольной оси тела пропорциональна синусу угла отклонения этой оси от горизонтали. Так, например, при пассивном стоянии под углом 70° величина воздействия составляет 0,94 ед. Возникающий при этом значительный градиент гидростатического давления, обусловленный весом столба крови в сосудах, приводит к гравитационному перераспределению крови в организме. Для поддержания циркуляторного гомеостаза в этом случае включаются так называемые антигравитационные механизмы, обеспечивающие, в частности, венозный возврат крови к сердцу. Ортостатический коллапс рассматривается как следствие снижения компенсаторных возможностей циркуляторного аппарата поддерживать адекватное кровоснабжение головного мозга.

Классическими исследованиями (Hill, 1895; Hill, Barnard, 1897), проведенными на кошках, кроликах и змеях, было показано, что при переводе этих животных в вертикальное положение у них существенно нарушалось кровообращение, которое Хилл характеризовал как «гравитационный шок», возникающий вследствие перераспределения крови и уменьшения венозного притока крови к сердцу. Эти и последующие исследования (Schellong, Heinemeier, 1933; Asmussen et al., 1939, Brogdon, Hellebrandt, 1943; Schellong, Luderitz, 1954; Brecher, 1956; Krug, Schlicher, 1960; Могендович, 1965; Гайтон, 1969; и др.) позволили подойти к обоснованию высокой специфичности и информативности ортостатической пробы для определения устойчивости сердечно-сосудистой системы к гравитационным воздействиям. В связи с этим проба нашла широкое применение в различных областях медицины: клинической, экспериментальной, спортивной, авиационной и др. В космическую физиологию и медицину ортостатическая проба вошла как обязательный тест для прогностической оценки реадаптационных возможностей циркуляторного аппарата человека, возвращающегося из состояния невесомости в поле тяготения Земли. Проводя такую пробу до и после космического полета, можно, в известной мере, судить об эффективности антигравитационных механизмов сердечно-сосудистой системы, обеспечивающих поддержание циркуляторного гомеостаза в условиях воздействия силы тяжести, а следовательно, и реадаптационных возможностей организма человека к земной гравитации.

На основании теоретического анализа сущности гравитационных воздействий на организм человека, большого опыта исследований в области авиационной медицины и клинических наблюдений, еще до первого полета человека на космическом корабле, было высказано предпо-

ложение, что невесомость может вызывать нарушение регуляции кровообращения при ортостатическом воздействии. В таком прогнозе, кроме влияния невесомости, учитывались и другие факторы космического полета, способные вызвать снижение ортостатической устойчивости, а именно дефицит мышечной активности, температурный дискомфорт, утомление, эмоциональная напряженность, специфичность питания, измененный ритм «сон-бодрствование» и другие.

К моменту начала осуществления полетов на космических кораблях «Союз» отечественная космическая медицина располагала лишь сведениями о переносимости человеком факторов космического полета максимальной продолжительностью до пяти суток. Поэтому наиболее важным явилось изучение степени гравитационных расстройств кровообращения по мере увеличения длительности пребывания человека в состоянии невесомости. Иначе говоря, решалась задача, каков же тот срок пребывания человека в состоянии невесомости, после которого возвращение в гравитационное поле Земли не явится для него чрезмерной нагрузкой. Изучение этого вопроса касается не только раздела ортостатических расстройств кровообращения, а, по-видимому, вообще является центральным в космической медицине. По крайней мере его актуальность не исчезла даже после завершения трехмесячного полета американской орбитальной станции «Скайлэб».

Именно поэтому основными целями данного исследования явились:

1. Изучение феноменологии гравитационных расстройств кровообращения у членов экипажей кораблей «Союз», совершивших 2—18-суточные космические полеты.

2. Выяснение зависимости степени этих нарушений от увеличения длительности пребывания человека в состоянии невесомости.

3. Определение общих и индивидуальных закономерностей реакции кардио-респираторной системы при постуральных воздействиях.

4. Выяснение основных принципов подхода к разработке и применению средств профилактики ортостатической неустойчивости.

Среди существующих многочисленных вариантов проведения данного теста в настоящее время можно выделить два основных вида: активный и пассивный. Активная ортостатическая проба заключается в самостоятельном переходе испытуемого из горизонтального в вертикальное положение и дальнейшем неподвижном стоянии. При пассивном ортостатическом воздействии для перевода испытуемого в вертикальное положение применяют специальный поворотный стол, который позволяет проводить пробу в различных модификациях, в том числе под определенным углом наклона поворотного стола, составленного продольной осью тела обследуемого и горизонтальной плоскостью. Наибольшее признание отечественных и зарубежных исследователей получила методика проведения пробы с углом наклона в 70—90°.

При обследовании космонавтов по программе полетов кораблей «Союз» применялся как активный, так и пассивный способ перевода обследуемого в вертикальное положение. Причем для осуществления последнего использовался поворотный стол, снабженный специальной опорной площадкой для ног. Создание такой опоры можно считать более физиологичным по сравнению с применяемыми для этой цели системами фиксации типа английского седла или парашютной.



Гемодинамические сдвиги, возникающие в организме человека под влиянием гравитационных сил, весьма разнообразны. Поэтому с учетом поставленных задач исследователи остановились на различных показателях, по изменению которых судили о функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы. В качестве основных критериев ортостатической устойчивости использовали время наступления и частоту случаев обморочного состояния, величины частоты сердечных сокращений, артериального давления, изменения электрокардиограммы, фаз систолы левого желудочка, кровенаполнения сосудов головного мозга, перераспределения крови, сосудистого и мышечного тонуса и др. В то же время, если рассматривать пассивную ортостатическую пробу как нагрузку, предъявляющую определенные требования к сердечно-сосудистой системе по поддержанию адекватной циркуляции и удовлетворению кислородного запроса организма, то следует учитывать, что одним из важнейших параметров в этом случае может служить функция внешнего дыхания.

Хорошо известно, что в генезе снижения ортостатической устойчивости существенную роль играют явления гипоксического характера, развивающиеся в тканях головного мозга и миокарда, которые возникают вследствие нарушения гемодинамики в этих органах. Хорошо также известна и роль газового состава артериальной крови и легочной вентиляции в регуляции сосудистого тонуса и венозного возврата крови.

Газообмен, являясь функцией легочной вентиляции и легочного кровотока, при известных изменениях вентиляции, может косвенно характеризовать состояние гемодинамики малого круга, а следовательно, и изменение минутного объема кровообращения. Изучение функции внешнего дыхания, газообмена и гемодинамики в их взаимосвязи, таким образом, не только расширяет наши знания о реакции организма на гидростатический фактор кровообращения, но и проливает свет на механизмы, ответственные за гомеостаз.

Подробное изложение этого вопроса не является случайным. Дело в том, что при изучении ортостатической устойчивости у членов экипажей кораблей «Союз-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9» впервые был использован комплексный метод съема информации, включающий регистрацию различных параметров сердечно-сосудистой и дыхательной систем.

Активные и пассивные ортостатические пробы членам экипажей кораблей «Союз» проводили примерно за месяц до начала космического полета и в различные сроки после его окончания. Активная ортостатическая проба заключалась в пребывании обследуемого в положении лежа, сидя и стоя по 5 мин. В отдельных случаях проба проводилась в сокращенной модификации (лежа-стоя в течение 5—10 мин.). При выполнении пробы регистрировали частоту сердечных сокращений по ЭКГ и определяли артериальное давление аускультативным или тахоосциллографическим методом.

Пассивную ортостатическую пробу проводили на специальном поворотном столе, как правило, в одни и те же утренние часы не ранее, чем через час после легкого завтрака. Пробам не предшествовали нагрузочные тесты и внутрисосудистые манипуляции. В исходном горизонтальном положении лежа на спине космонавт находился не менее 30 мин., после чего за 5—10 сек. переводился на 10 мин. в положение, близкое к вертикальному (70°).

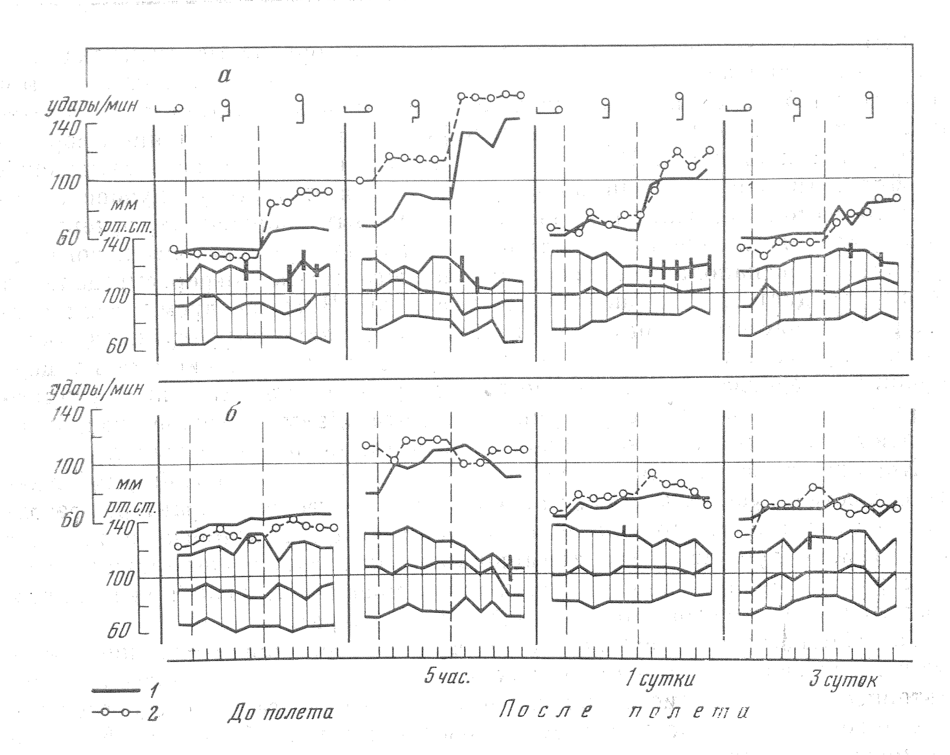



**Рис. 46. Частота сердечных сокращений и артериальное давление при активной ортостатической пробе В. Г. Лазарева (а) и О. Г. Макарова (б)**

*1* (сверху вниз) — частота сердечных сокращений, систолическое артериальное давление, среднее гемодинамическое и диастолическое; *2* — должные значения частоты сердечных сокращений при данной продолжительности периода изгнания; столбики — дыхательные волны *АД*

Комплексная оценка функций сердечно-сосудистой и дыхательной систем при проведении пассивной ортостатической пробы предусматривала постоянную регистрацию следующих параметров: частоты сердечных сокращений (ЧП) по интервалам R — R электрокардиограммы, минутного объема дыхания (МОД) при помощи газового счетчика, частоты дыхания (ЧД) и содержания $CO_2$ в конечной порции выдыхаемого воздуха (% $CO_2$) (т. е. в альвеолярном газе) на малоинерционном инфракрасном анализаторе «Капнограф», потребления кислорода ($VO_2$) и выделения углекислого газа ($VCO_2$) на автоматическом газоанализаторе «Спиролит».

Дискретно регистрировали электрокардиограмму в стандартных и нечетных однополюсных грудных отведениях, фонокардиограмму, реоэнцефалограмму в фронтомастоидальном, бимастоидальном и битемпоральном отведениях, сфигмограмму сонной, лучевой и бедренной артерий, реограммы правого легкого и голени. Артериальное давление определяли тахоосциллографическим методом по Н. Н. Савицкому. Для определения содержания углекислого газа в смешанной венозной крови (с целью расчета сердечного выброса непрямым методом Фика) в горизонтальном положении и в конце пребывания испытуемого в вертикальном положении пробы проводили возвратное дыхание в резиновый мешок, содержащий око-



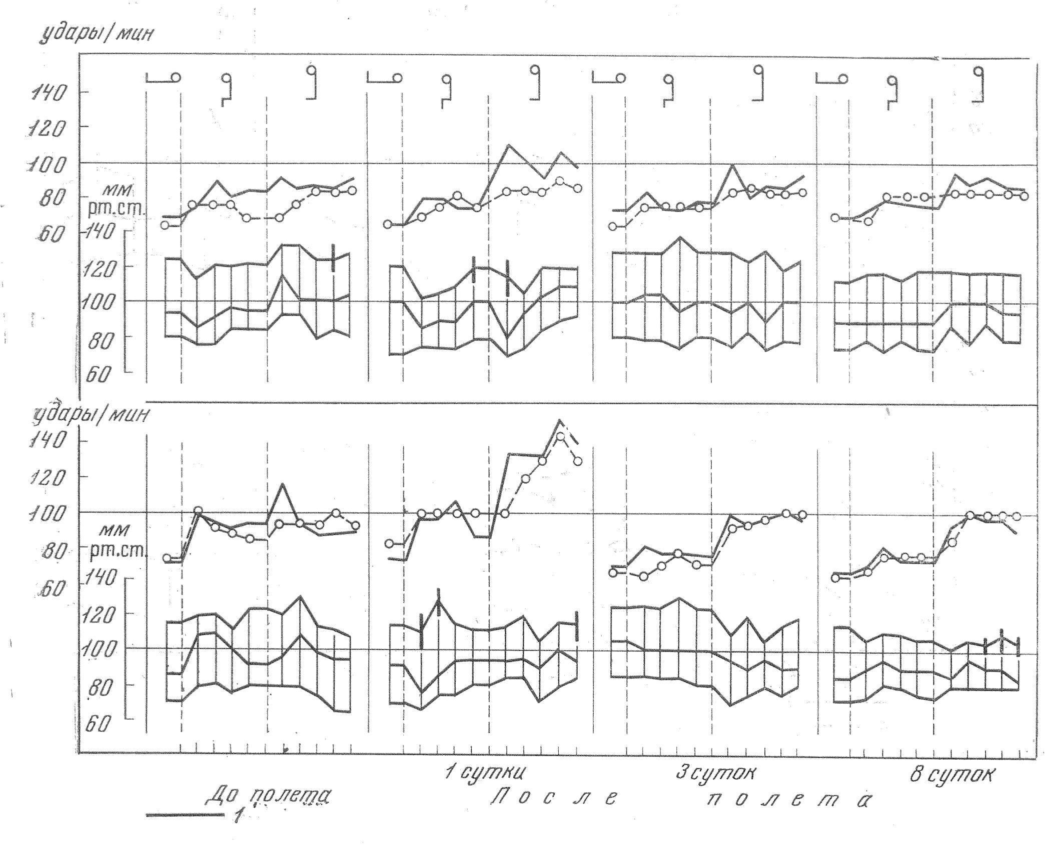



**Рис. 47. Частота сердечных сокращений и артериальное давление при пассивной ортостатической пробе у В. Г. Лазарева (а) и О. Г. Макарова (б)**

Остальные обозначения те же, что на рис. 46

ло 700 мл газовой смеси из 5—7% углекислого газа и 60% кислорода в азоте (членам экипажей космических кораблей «Союз-6, 7, 8, 9»).

Рассчитывали минутный объем крови (МОК) как по Бремзеру и Ранке, так и непрямым методом Фика (отношение $VCO_2$ к вено-артериальной разнице содержания $CO_2$ в об. %), ударный объем сердца (отношение МОК к ЧП), кислородный пульс как отношение $VO_2$ к ЧП), удельное периферическое сопротивление (по отношению среднего динамического давления к сердечному индексу), продолжительность фаз систолы левого желудочка методом поликардиографии (Карпман, 1965), скорость распространения пульсовой волны по сосудам эластического и мышечного типов, ударный и сердечный индексы (как отношение ударного и сердечного выброса к поверхности тела), величины кровенаполнения сосудов головного мозга и другие показатели центральной и периферической гемодинамики.

Во всех исследованиях, проведенных в первые часы после приземления, было выявлено снижение ортостатической устойчивости. Так, через 5 час. после приземления у членов экипажей космического корабля

**Рис. 48. Частота сердечных сокращений и артериальное давление при пассивной ортостатической пробе у членов экипажей кораблей «Союз-4» и «Союз-5» до (а) и после окончания (б) космического полета**

*I* — В. А. Шаталов; *II* — Б. В. Волынов; *III* — А. С. Елисеев; *IV* — Е. В. Хрунов
Остальные обозначения те же, что на рис. 46

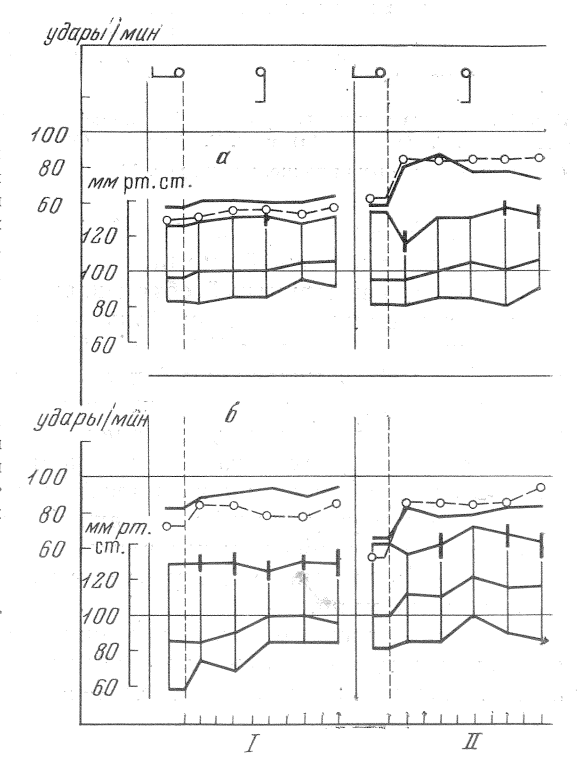



**Рис. 49. Частота сердечных сокращений и артериальное давление при пассивной ортостатической пробе у членов экипажей кораблей «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8» до (а) и через сутки после окончания (б) космического полета**

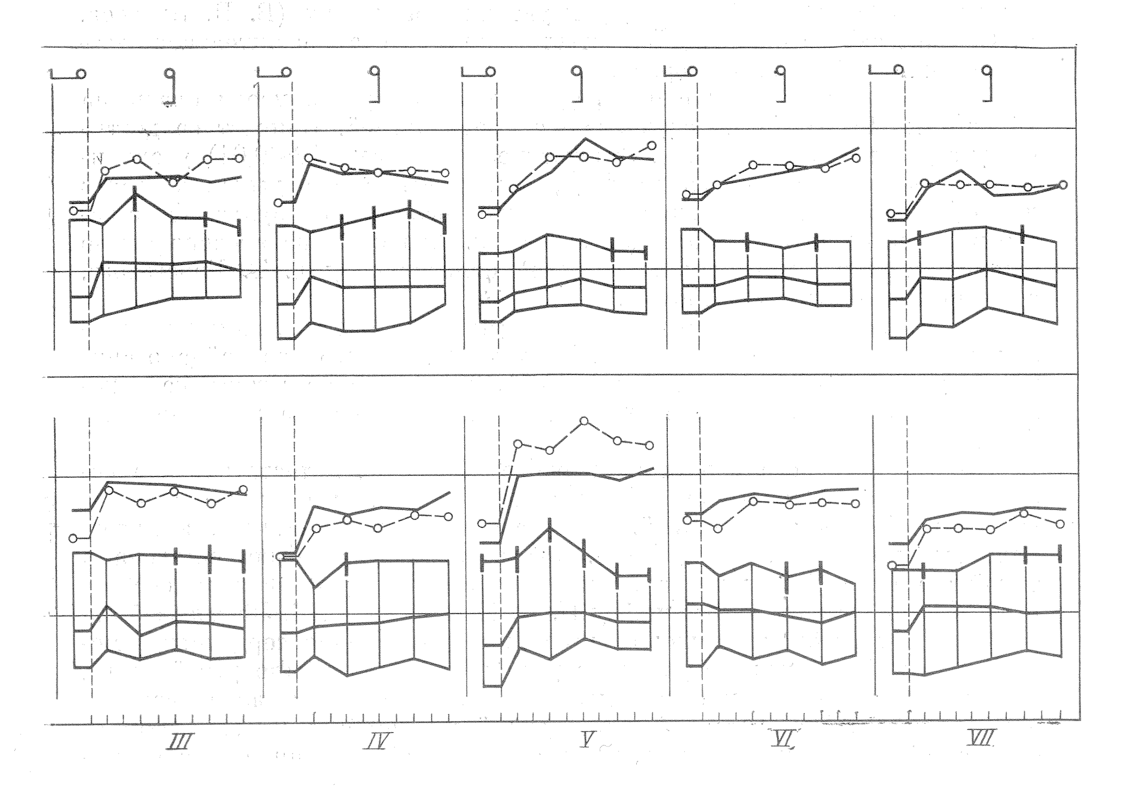
*I* — Г. С. Шонин; *II* — В. Н. Кубасов; *III* — А. В. Филипченко; *IV* — В. Н. Волков; *V* — В. В. Горбатко; *VI* — В. А. Шаталов; *VII* — А. С. Елисеев
Остальные обозначения те же, что на рис. 46



«Союз-12», совершивших 2-суточный полет, наблюдалось ухудшение переносимости активного стояния. Частота сердечных сокращений в вертикальном положении у В. Г. Лазарева составляла в среднем 135 уд/мин, более чем в два раза превышая предполетный уровень. У О. Г. Макарова тахикардия была менее выраженной — 102 уд/мин. Тахикардия сопровождалась снижением систолического и уменьшением пульсового артериального давления (рис. 46). После первой проведенной на Земле ночи переносимость активного стояния значительно улучшилась, а через трое суток практически восстановилась полностью. Переносимость первой пассивной ортостатической пробы, проведенной через 18 час. после приземления В. Г. Лазареву, оказалась сниженной и восстановилась также через трое суток, а у О. Г. Макарова реакция и на первую послеполетную пробу была близкой к исходной (рис. 47).

У членов экипажей космических кораблей «Союз-4, 5», совершивших 2–3-суточный полет, переносимость активной ортостатической пробы через сутки после приземления существенно не изменилась. Максимальный прирост частоты сердечных сокращений стал больше у трех из четверых человек и превышал предполетные значения в среднем на 8%; изменения пульсового давления были разнонаправленными.

При пассивном ортостатическом воздействии, проведенном через сутки после приземления, также не было обнаружено важных признаков снижения постуральной устойчивости. Газообмен практически не менялся, падение кислородного пульса и процентного содержания углекислого газа



в конечной порции выдыхаемого воздуха было умеренным. Восстановление ортостатической устойчивости после 2—3-суточных полетов шло быстро. Об этом говорит тот факт, что у членов экипажей космических кораблей «Союз-4, 5» через сутки после приземления она приближалась к предполетной (рис. 48). Отмечалась лишь тенденция к гипертензивным реакциям, повышение артериального тонуса и периферического сопротивления.

Через сутки после приземления у космонавтов, совершивших 5-суточный групповой космический полет на кораблях «Союз-6, 7, 8», ортостатическая устойчивость была ниже предполетной. Частота сердечных сокращений при активном стоянии превышала контрольные значения в среднем на 12 уд/мин, а к концу 10-минутного стояния на 16 уд/мин ($P<0{,}02$). У всех членов экипажей при переходе из горизонтального в вертикальное положение наблюдалось более выраженное уменьшение пульсового артериального давления, которое составило в среднем 19%. В то же время прирост частоты пульса на изменение позы был больше лишь в четырех случаях из семи и в целом не изменился.

При пассивных ортостатических исследованиях изменения большинства изучаемых показателей у членов экипажей космических кораблей «Союз-6, 7, 8» были однонаправлены и статистически значимы (рис. 49). Уже в горизонтальном положении частота пульса стала больше в среднем на 28% ($P<0{,}01$), минутный объем дыхания на 18% ($P<0{,}01$), потребление кислорода на 16% ($P<0{,}01$), а кислородный пульс уменьшился у пяти космонавтов (от 3 до 25%) и увеличился у двух (В. Н. Кубасов, А. С. Елисеев) на 4,5 и 2,3% соответственно за счет значительного возрастания потребления кислорода.

В вертикальном положении средняя частота пульса увеличилась на 16 уд/мин ($P<0{,}001$) по сравнению с предполетной. Прирост ее достигал у отдельных лиц 9—50%. Статистически значимо ($P<0{,}01$) увеличилось потребление кислорода на 11%, а минутный объем дыхания возрос на 17% ($P<0{,}01$). Значительное снижение кислородного пульса было зафиксировано у пяти космонавтов из шести. Аналогичные послеполетные изменения регистрируемых показателей отмечались у Г. Т. Берегового, совершившего 4-суточный полет.

У космонавтов, которым в послеполетном периоде проводили определение объемов циркуляции непрямым методом Фика, было найдено снижение ударного объема сердца ($P<0{,}05$), по сравнению с этим же показателем в горизонтальном положении, тогда как до полета эти изменения были несущественными.

После 8-суточного полета на корабле «Союз-13» ортостатические реакции на пассивное стояние были ярко выраженными и проявлялись главным образом тахикардией. Ортостатическая устойчивость, в интегральном выражении, через 5 час. после приземления была снижена в такой же мере, как и после 2-суточного полета. Существенной особенностью ортостатических реакций у П. И. Климука и В. В. Лебедева была компенсация ортостатических сдвигов преимущественно сердечными механизмами. Артериальное давление у них было достаточно устойчивым, а продолжительность периода изгнания соответствовала должным величинам (рис. 50). После первой проведенной на Земле ночи ортостатическая устойчивость улучшилась, хотя и в меньшей степени, чем у космо-



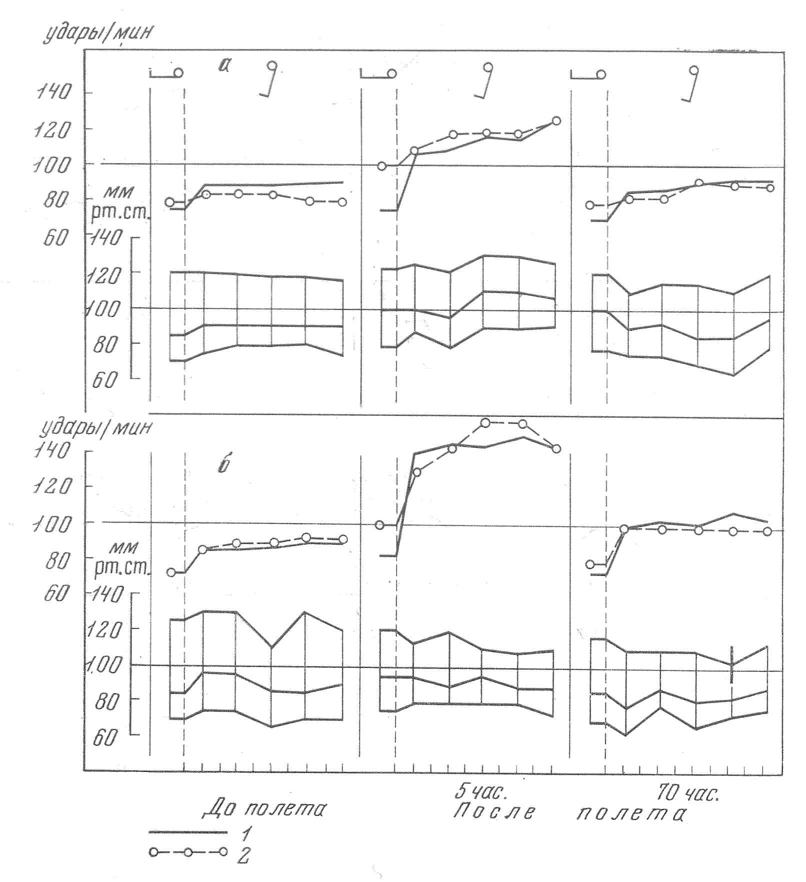
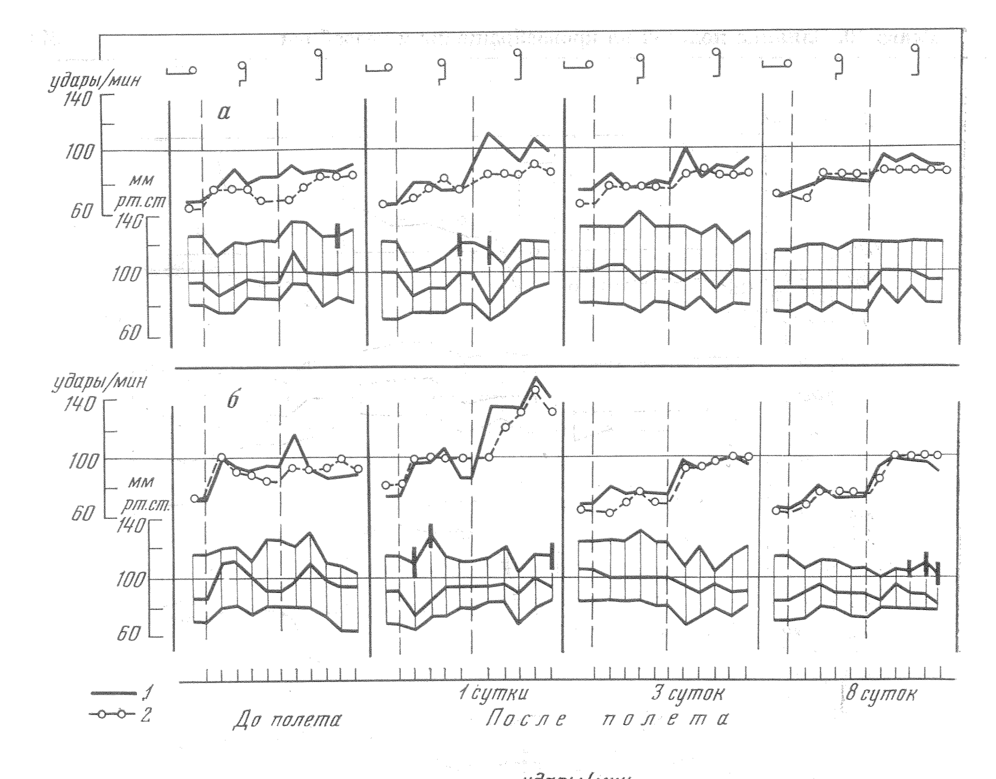



**Рис. 50. Частота сердечных сокращений и артериальное давление при пассивной ортостатической пробе у П. И. Климука (*а*) и В. В. Лебедева (*б*)**

Остальные обозначения те же, что на рис. 46

навтов после 2-суточного полета (рис. 51). Через трое суток после приземления ортостатическая устойчивость была близкой к предполетному уровню, а через 8 суток наметилась волна вторичного снижения.

18-суточный космический полет на корабле «Союз-9» вызвал у космонавтов бо́льшие изменения ортостатических реакций, чем кратковременные полеты. В первые часы после полета ортостатическая устойчивость была значительно снижена и сказывалась на функциональных возможностях организма. Так, проба с активным стоянием у В. И. Севастьянова была прервана на 5-й минуте из-за ухудшения самочувствия. Как уже сообщалось ранее, ортостатические реакции характеризовались крайним напряжением компенсаторных механизмов. Однако главным отличием постуральных реакций у космонавтов после 18-суточного полета были волнообразность ортостатической устойчивости и медленное ее восстановление (рис. 52, 53). Фактически за месячный срок наблюдения переносимость активного стояния не восстанавливалась. Характерными были



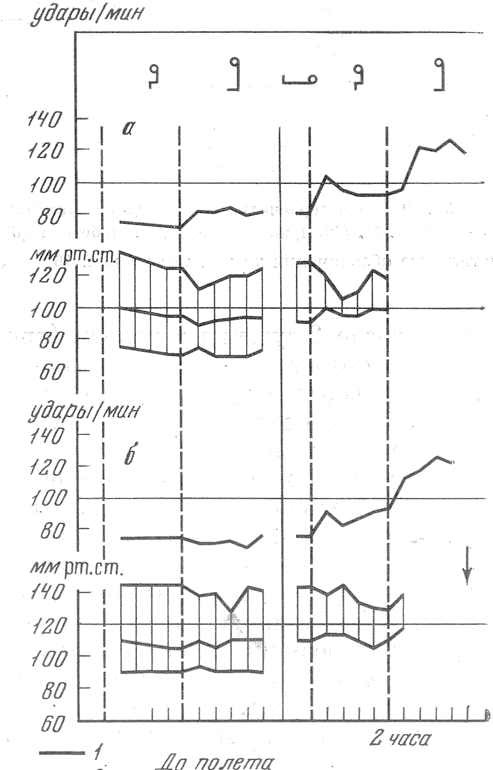




**Рис. 51. Частота сердечных сокращений и артериальное давление при активной ортостатической пробе у П. И. Климука (*а*) и В. В. Лебедева (*б*)**

Остальные обозначения те же, что на рис. 46

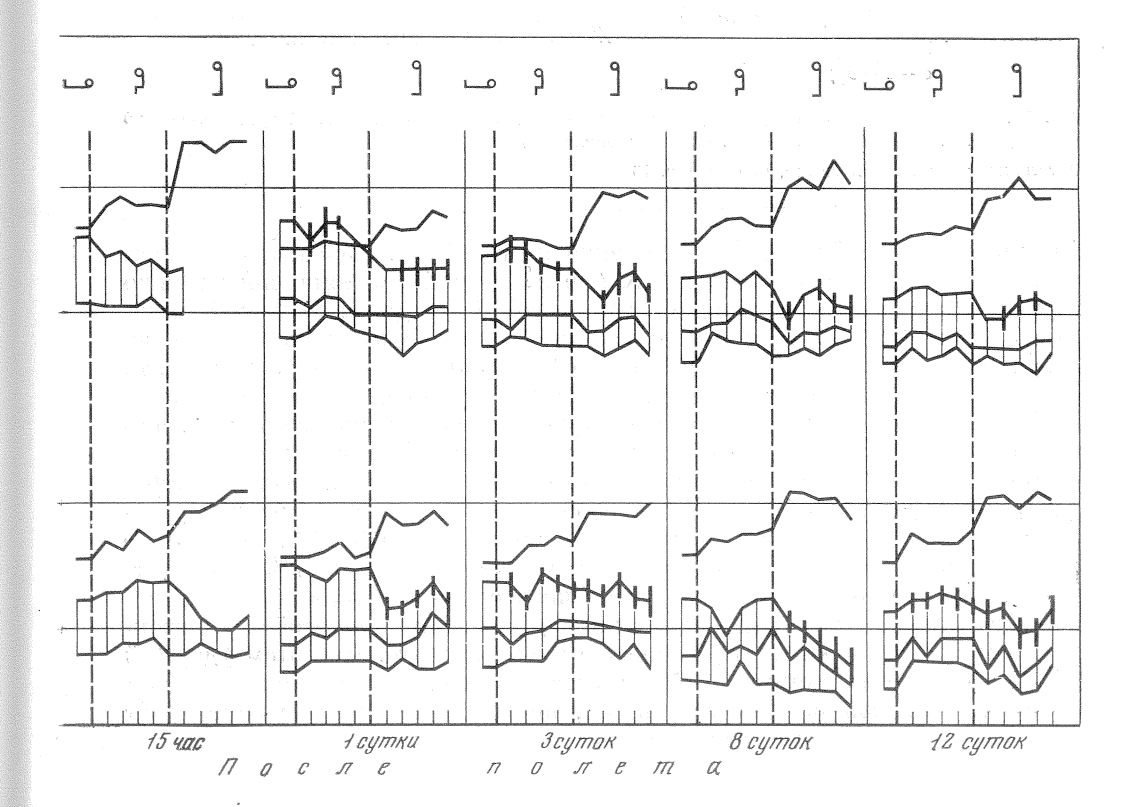
**Рис. 52. Частота сердечных сокращений и артериальное давление при активной ортостатической пробе у А. Г. Николаева (*а*) и В. И. Севастьянова (*б*)**

Остальные обозначения те же, что на рис. 46



лабильность частоты сердечных сокращений, неустойчивость артериального давления и повышение артериального тонуса. Так, по данным В. В. Калиниченко и соавт. (1970), сразу же после полета у А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова наблюдалась плохая переносимость активной ортостатической пробы, на третьи сутки она стала удовлетворительной, на восьмые — вновь ухудшилась, а в дальнейших исследованиях наблюдалась постепенная нормализация. У членов экипажа космического корабля «Союз-9» при перемене положения тела отмечались также более существенные изменения сердечно-сосудистой системы, характеризовавшиеся в первую очередь инертностью компенсаторных механизмов кровообращения. Прирост частоты пульса при активной ортостатической пробе, проведенной на вторые сутки после приземления, стал больше предполетных значений на 12%, а на четвертые сутки — на 19%. Максимальное уменьшение пульсового давления при этом превышало величины, полученные при предполетном исследовании, в среднем на 35%. Аналогичная динамика изменений была отмечена у членов экипажа орбитальной станции «Скайлэб-2», где максимальное увеличение частоты пульса при пробе с отрицательным давлением на нижнюю половину тела (ОДНТ) было зарегистрировано на первый и второй дни после окончания полета, а не сразу после приземления.

При первой послеполетной пассивной ортостатической пробе (через двое суток после приземления) В. И. Севастьянов с трудом перенес



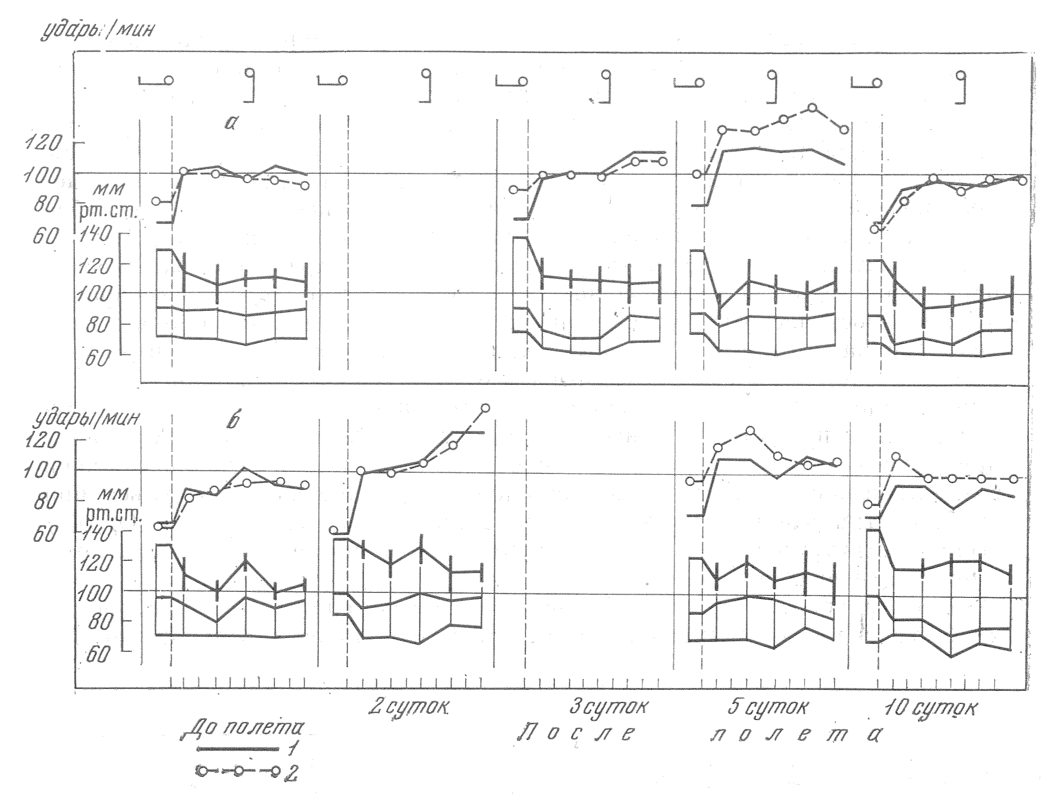



**Рис. 53. Частота сердечных сокращений и артериальное давление при пассивной ортостатической пробе у А. Г. Николаева (*а*) и В. И. Севастьянова (*б*)**

Остальные обозначения те же, что на рис. 46

10-минутное воздействие (Калиниченко и др., 1970). Наблюдалась выраженная бледность кожи лица, дыхание во второй половине пробы было глубоким и прерывистым, причем минутный объем дыхания на 8-й минуте достигал 26,8 л, содержание $CO_2$ в альвеолярном газе падало до 2,2%. Подобное падение содержания $CO_2$ в альвеолярном газе принято рассматривать как один из предвестников ортостатического обморока. Наблюдавшаяся резкая гипервентиляция (почти в пять раз превышающая исходный уровень) не была обусловлена метаболическими потребностями организма, хотя газообмен в среднем за 10 мин. был увеличен ($VO_2$ на 26%, $VCO_2$ на 27%) по сравнению с газообменом перед полетом при том же положении тела, а прирост его на 8—10-й минуте по отношению к горизонтальному положению составил 34 и 87% соответственно. В то же время минутный объем кровообращения при вертикальном положении мало отличался от величины, зарегистрированной в горизонтальном положении, и был даже выше предполетного. При этом ударный объем сердца был примерно в два раза меньше, чем в горизонтальном положении. Такой объем циркуляции, по-видимому, достигался за счет существенного прироста частоты сердечных сокращений.



Характерные результаты были получены и при исследовании биоэлектрической активности сердца у В. И. Севастьянова при пассивной ортостатической пробе через двое суток после полета. Если в начале вертикального положения тела зубец T обычно уменьшался, то на 8—10-й минутах он увеличивался, превысив даже исходный уровень. Такие изменения на фоне значительного напряжения регуляторных систем организма можно расценивать как признак гипоксии миокарда. Это подтверждалось расхождением электрических осей QRS и T до 130°, а также депрессией сегмента S—T. В последующих пробах этой особенности уже не наблюдалось. Снижение амплитуды ЭКГ после 18-суточного полета держалось более 10 суток.

При первой послеполетной пассивной ортостатической пробе, проведенной А. Г. Николаеву через трое суток после приземления, были выявлены изменения некоторых показателей, указывающих на снижение ортостатической устойчивости (Калиниченко и др., 1970). Пробу он перенес с напряжением, в вертикальном положении выявлялась выраженная бледность лица. Степень падения ударного и минутного объема кровообращения при переходе из горизонтального в вертикальное положение была более значительной, чем до полета. Частота пульса на последней минуте ортостаза при этом мало отличалась от предполетной, а прирост минутного объема дыхания, снижение содержания $CO_2$ в альвеолярном газе и кислородного пульса были даже несколько меньше, чем в предполетных исследованиях.

При последующей ортостатической пробе, проведенной на шестые сутки, большинство показателей, зарегистрированных у В. И. Севастьянова, имело тенденцию к улучшению по сравнению с показателями, полученными в пробе, проведенной через двое суток после приземления. Так, к предполетным значениям приблизились величины частоты сердечных сокращений, артериального давления, минутного объема кровообращения. Снижение кислородного пульса к концу пробы было менее выраженным (24% против 32%), хотя его абсолютная величина была ниже, чем при предыдущих пробах.

У А. Г. Николаева при обследовании на шестые сутки по ряду показателей отмечалась тенденция к ухудшению ортостатической устойчивости. Например, частота сердечных сокращений и прирост ее в ответ на изменение положения тела увеличились, ударный объем и кислородный пульс снизились в значительно большей степени, чем при пробе, проведенной на третьи сутки после полета. Интересен тот факт, что при этой пробе у него и минутный объем кровообращения, и ударный объем сердца были самыми низкими, так же как и кислородный пульс.

При ортостатических пробах, проведенных на 11-е сутки, большинство регистрируемых показателей у обоих космонавтов было близко к предполетным (см. рис. 52, 53). Однако даже через 35 суток после приземления показатели кровообращения при пробе со стоянием хотя и незначительно, но все же отличались от контрольного уровня (Петухов и др., 1970).

Возникает вопрос, можно ли на основании полученных данных вынести заключение о зависимости степени послеполетной ортостатической неустойчивости от продолжительности полета. Результаты выполненных исследований указывают на незначительное снижение ортостатической устойчивости у космонавтов, совершивших 2—5-суточные полеты и по-

явление более выраженных признаков ухудшения ответной реакции кардио-респираторной системы при полетах большей продолжительности.

Ограниченное количество наблюдений обусловливает предварительный характер объяснения ортостатических реакций у космонавтов после космических полетов. Полученные материалы подтверждают, что снижение ортостатической устойчивости под влиянием невесомости является постоянным и характерным признаком детренированности сердечно-сосудистой системы. Существенно, что степень снижения ортостатической устойчивости в большинстве случаев зависит от ее исходного, предполетного уровня и, следовательно, ориентировочно может прогнозироваться.

В полетах различной продолжительности динамический процесс перестройки регуляции сердечно-сосудистой системы вследствие отсутствия управляющего фактора — силы тяжести прерывался на разных стадиях. Так, нарастание напряженности ортостатических реакций после полетов продолжительностью до восьми суток, очевидно, происходит в рамках острой стадии адаптации к невесомости. Для этой стадии характерно сохранение возбудимости и эффективности сердечных механизмов компенсации ортостаза. После 18-суточного полета увеличение частоты сердечных сокращений не соответствует напряженности компенсаторных механизмов циркуляторного гомеостаза и, по-видимому, дефициту венозного возврата в ортостатическом положении. Относительно небольшое увеличение частоты сердечных сокращений не обеспечивает, по-видимому, необходимого уровня кровообращения. Подобная ситуация наблюдалась и у американских астронавтов в первые часы после 14-суточного полета. Таким образом, в этой ситуации недостаточная тахикардия представляется одним из моментов, характерных для снижения ортостатической устойчивости. При этом компенсация ортостатической нагрузки осуществляется в основном повышением артериального тонуса и периферического сопротивления, представляющих, вероятно, определенный резерв возможностей циркуляции.

Увеличение напряженности компенсаторных механизмов системы кровообращения отчетливо проявляется уже после 2-суточных полетов. Структура реакции компенсации ортостатических сдвигов, хотя и имела значимые индивидуальные различия, в то же время изменялась по мере увеличения продолжительности полетов. Для реакции на ортостаз после полетов продолжительностью до восьми суток характерна компенсация в основном центральными механизмами кровообращения. Артериальный тонус и периферическое сопротивление в этом случае не затрагивались и составляли как бы резерв компенсаторных возможностей организма. Особенно ярко это проявилось у П. И. Климука и В. В. Лебедева. Правда, возможно, не последнюю роль здесь играл молодой возраст космонавтов. Таким образом, после полетов до восьми суток преобладали индивидуальные особенности реакций над общей тенденцией. После 18-суточного полета реакции на ортостаз были в основном однонаправленными и включали как центральные, так и в особенности периферические механизмы компенсации. Эта эволюция, очевидно, отражает углубление специфического влияния невесомости по мере увеличения продолжительности полета.

Особый интерес представляет тот факт, что после 18-суточного полета за сутки пребывания на Земле ортостатическая устойчивость у космонавтов (по данным переносимости активной пробы) приблизилась к предполетному уровню. Такое относительно быстрое восстановление эффективности компенсаторных механизмов системы кровообращения скорее всего достигалось активацией гуморальных факторов регуляции под влиянием резкого увеличения афферентной импульсации при переходе к земной гравитации. Это подтверждается данными американских исследователей о резком увеличении содержания антидиуретического гормона, альдостерона, катехоламинов в плазме крови астронавтов после полетов по программе «Аполлон» (Berry, 1973). Сохранение способности к активации регуляторных механизмов системы кровообращения может быть также использовано и при подготовке организма космонавтов к возвращению к земной гравитации.



Другое дело, что относительное повышение ортостатической устойчивости оказалось непродолжительным и сменилось вторичным снижением. Эта особенность и медленное восстановление свидетельствуют, вероятно, о перенапряжении детренированных механизмов сердечно-сосудистой системы под влиянием земной гравитации и, следовательно, о необходимости регламентации послеполетного режима космонавтов.

Полученные данные ортостатических исследований, выполненных по программе полетов кораблей «Союз», подтверждаются и результатами обследования американских астронавтов, совершавших полеты по программам «Меркурий», «Джемини» и «Аполлон». После окончания кратковременных полетов нормализация ортостатической устойчивости шла достаточно быстро и занимала около 48—72 час. Увеличение продолжительности полетов вызывало и более замедленное восстановление отдельных функций до исходного уровня. По мнению Берри (Berry, 1973), степень ухудшения ортостатической устойчивости у членов экипажей кораблей «Аполлон» была выражена больше, чем у пилотов кораблей «Меркурий» и «Джемини», совершавших менее длительные полеты.

Еще более выраженное снижение ортостатической устойчивости наблюдалось в послеполетном периоде у членов первого экипажа орбитальной станции «Скайлэб». У них после 28-суточного орбитального полета нормализация реакции частоты пульса при пробе с ОДНТ отмечалась лишь к 21—24 дню послеполетного периода.

Таким образом, несмотря на определенные различия, связанные с особенностями выполнения программы отдельных космических полетов, проведенных как в СССР, так и в США, общей закономерностью является четкое развитие детренированности сердечно-сосудистой системы под влиянием различных экстремальных факторов и прежде всего невесомости на организм человека.

В заключение следует отметить, что комплекс ортостатических исследований, выполненных по программе полетов кораблей «Союз», позволил установить, что степень снижения ортостатической устойчивости находится в определенной зависимости от длительности полета. Несмотря на то, что отдельные физиологические реакции человека на переход из горизонтального в вертикальное положение носили выраженный индивидуальный характер, удалось проследить общую направленность сдвигов, обусловленных в первую очередь гравитационным перераспределением крови. В свою очередь эти исследования показали высокую реактивность сердечно-сосудистой системы к основным факторам космического полета и

позволили считать ортостатические воздействия одним из информативных методов оценки детренированности организма космонавтов, возвращающегося из состояния невесомости к земной гравитации.

Закономерный эффект снижения ортостатической устойчивости, отмеченный в рамках модельных экспериментов и космических полетов, позволил подойти и к решению другого важного вопроса — о необходимости проведения широких профилактических мероприятий, направленных против неблагоприятного влияния невесомости на организм человека.

С этой целью проводятся широкие экспериментальные исследования, направленные на разработку и оценку эффективности различных профилактических средств. В частности, была убедительно показана высокая эффективность метода физической тренировки для профилактики развития детренированности организма. Отдельные элементы этой методики были апробированы во время полета космического корабля «Союз-9». Четкий положительный эффект для поддержания ортостатической устойчивости был получен и от применения противоперегрузочного костюма.

Большой цикл самостоятельных исследований был проведен по разработке и использованию метода ОДНТ. Было показано, что искусственное перераспределение крови, наступающее при воздействии субатмосферного давления, вызывает явления, во многом сходные с наблюдаемыми и при ортостатической пробе. В связи с этим данный способ был предложен как для прогнозирования, так и для профилактики ортостатической неустойчивости во время космического полета.

## АНТИОРТОСТАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

К настоящему времени накопился большой фактический и экспериментальный материал, убедительно свидетельствующий о том, что при длительном антиортостатическом положении человека многие физиологические эффекты в основном аналогичны тем, которые отмечаются у космонавтов в остром периоде адаптации к состоянию невесомости. Причем эти изменения затрагивают не только сердечно-сосудистую, но и другие анализаторные системы, особенно зрительную и вестибулярную.

В связи с этим возникла необходимость применения специальной функциональной пробы, которая позволила бы, с одной стороны, моделировать некоторые гемодинамические сдвиги, происходящие в состоянии невесомости, с другой — оценить компенсаторно-приспособительные возможности сердечно-сосудистой системы в этих условиях. Такой функциональной пробой может быть антиортостатическое воздействие. Проводя такую пробу до космического полета, можно в определенной мере прогнозировать устойчивость системы кровообращения к состоянию невесомости, а в послеполетном периоде — оценить степень адаптации сердечно-сосудистой системы к условиям космического полета. Иначе говоря, антиортостатические исследования во многом могут дополнить изучение гравитационных аспектов кровообращения «с другой стороны», поскольку адаптация к невесомости означает в то же время ослабление антигравитационных механизмов, обеспечивающих поддержание циркуляторного гомеостаза в условиях воздействия силы тяжести. Именно поэтому пред-



ставлялось важным выявить эти характерные изменения в регуляции кровообращения от продолжительности полета.

Основными целями данного исследования явились:

1. Изучение особенностей центрального и периферического кровообращения человека при антиортостатическом воздействии до и после 2—18-суточных космических полетов.

2. Выявление характерных предполетных индивидуальных реакций космонавтов на антиортостаз для прогноза переносимости ими острого периода адаптации к состоянию невесомости.

3. Изучение характера гемодинамических сдвигов при антиортостатической нагрузке в зависимости от продолжительности космических полетов для оценки степени адаптации организма человека к состоянию невесомости.

Антиортостатическая нагрузка составляла вторую часть пассивной постуральной пробы и состояла из двух серий последовательных наклонов обследуемого на 15° и 30° от горизонтали вниз головой по 6 мин. в каждом положении. Регистрировались основные показатели гемодинамики и газообмена в том же объеме, что и при ортостатическом положении.

При оценке реакции кардио-респираторной системы космонавтов на антиортостатическую нагрузку внимание уделялось состоянию системного и регионарного кровообращения, в особенности кровенаполнению сосудов головного мозга, о чем, в частности, судили по изменению реоэнцефалографических показателей в битемпоральном, бимастоидальном и фронто-мастоидальном отведениях, наиболее информативно, на наш взгляд, отражающих специфическую перестройку регуляции кровообращения под влиянием невесомости. Об относительной величине пульсового кровенаполнения судили по максимальной амплитуде реографических волн, измеряемой в долях ома. Определяли дикротический индекс, отражающий преимущественно состояние тонуса артериол (Donzelot et al., 1950; Chlebus, 1962; Яруллин, 1967, 1969, 1972; Москаленко и др., 1971; и др.) и диастолический индекс, отражающий состояние оттока крови и тонуса вен (Meyer-Heine et al., 1949; Яруллин, Левченко, 1969; Яруллин и др., 1972). Появление более или менее выраженной венозной волны на реограммах головного мозга и конечностей расценивалось как показатель затруднения венозного оттока и развития застоя крови. Небольшая венозная волна рассматривалась как признак снижения тонуса (гипотония) вен (Wick, 1962; Яруллин, 1967; Хаджиев, 1967).

Кроме того, дополнительно (при бифронтальном отведении) вычислялся выведенный нами показатель пульсового кровенаполнения головы (ППКГ) по формуле:

$$ППКГ = \sqrt{\frac{ПИ(А + К)\sqrt{К}}{10}},$$

где ПИ — период изгнания в мсек; А и К — амплитуды анакроты и катакроты соответственно в момах. ППКГ выведен логическим путем на основании анализа реоэнцефалограмм при пассивных постуральных воздействиях. Этот показатель, как видно, отражает площадь и форму систолической части реоволны и, следовательно, состояние кровотока головы.

Проведенными исследованиями установлено, что реакция кровообращения на наклон вниз головой после полета изменялась у всех космо-

9 Заказ № 716

навтов с явной зависимостью от продолжительности их пребывания в состоянии невесомости.

После 2-суточного космического полета на корабле «Союз-12» отмечалось выраженное увеличение напряженности ответной реакции системы кровообращения на антиортостатическую нагрузку. Об этом свидетельствовали большие величины пульсового артериального давления, ударного и сердечного выброса, частоты сердечных сокращений, удлинение периода изгнания крови, укорочение фазы изометрического сокращения, снижение артериального тонуса и уменьшение периферического сопротивления. При этом величина пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга в битемпоральных отведениях даже несколько увеличилась, в особенности у В. Г. Лазарева, что свидетельствовало о снижении способности регуляторных механизмов стабилизировать кровообращение головы при отрицательных постуральных воздействиях (рис. 54).

После 5-суточного группового космического полета на кораблях «Союз-6, 7, 8» существенного изменения регионарного кровоснабжения сосудов головного мозга уже не наблюдалось; у семи космонавтов среднее значение амплитуды реоэнцефалограммы за антиортостатическое положение осталось таким же, как и до полета: 183 мом против 186 мом (Калин и др., 1972).

После 8-суточного полета на корабле «Союз-13» реакция системы кровообращения на ортостатическую нагрузку у обоих космонавтов имела отчетливые приспособительные черты, выражавшиеся в укорочении периода изгнания, увеличении фазы изометрического сокращения, уменьшении сердечного выброса и повышении периферического сопротивления. Показатели артериального давления и сосудистого тонуса при этом существенно не отличались от предполетных. Особенно наглядно это отражалось в реакции сосудов головного мозга (рис. 55). Судя по ППКГ в первые часы после приземления перевод в антиортостатическое положение не приводил, как это было до полета, к увеличению кровенаполнения головы. И, что особенно показательно, даже при наклоне на —30° форма реоэнцефалограммы приближалась к наблюдаемой и в горизонтальном положении. Суть изменения формы реоэнцефалограммы под влиянием невесомости состояла в том, что если до полета в антиортостатическом положении амплитуда катакроты превышала амплитуду анакроты (катакротический тип реограммы), то после полета упомянутые отношения стали обратными (анакротический тип реограммы), характерными для горизонтального положения тела. Через трое суток после полета описанные изменения еще не вернулись к предполетным значениям.

18-суточный космический полет вызвал в основном сходные изменения реакции системы кровообращения на антиортостатическую нагрузку. Следует лишь отметить их более стойкий характер.

Установленная перестройка реакций системной и регионарной гемодинамики, по нашему мнению, свидетельствует о том, что под влиянием невесомости развиваются компенсаторно-приспособительные механизмы, противодействующие переполнению кровью головы при воздействии отрицательной гравитационной нагрузки. Такая трактовка соответствует данным о ведущей роли артериальных сосудов головного мозга в осуществлении активных изменений его кровенаполнения (Мчедлишвили, 1968; Москаленко и др., 1972). В то же время эволюция формы

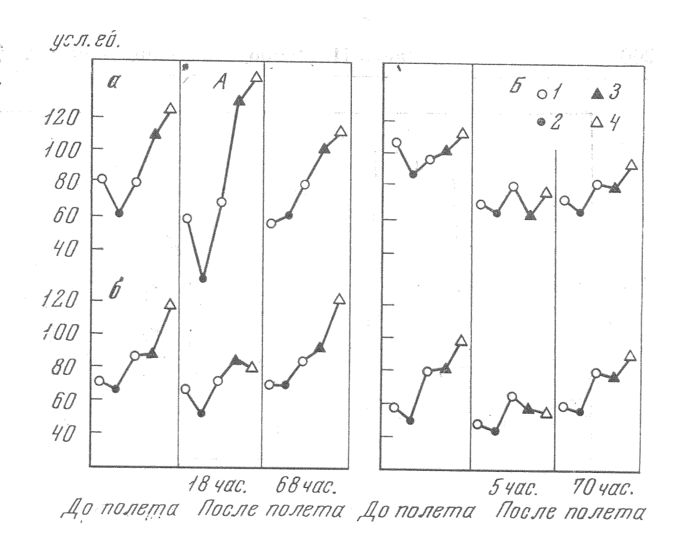



**Рис. 54. Показатели пульсового кровенаполнения головы при пассивных постуральных пробах у космонавтов после 2- (*А*) и 8-суточных (*Б*) полетов**

*а* — данные командиров кораблей;
*б* — бортинженеров;
*1* — горизонтальное;
*2* — ортостатическое;
*3* — антиортостатическое (—15°);
*4* — антиортостатическое (—30°)

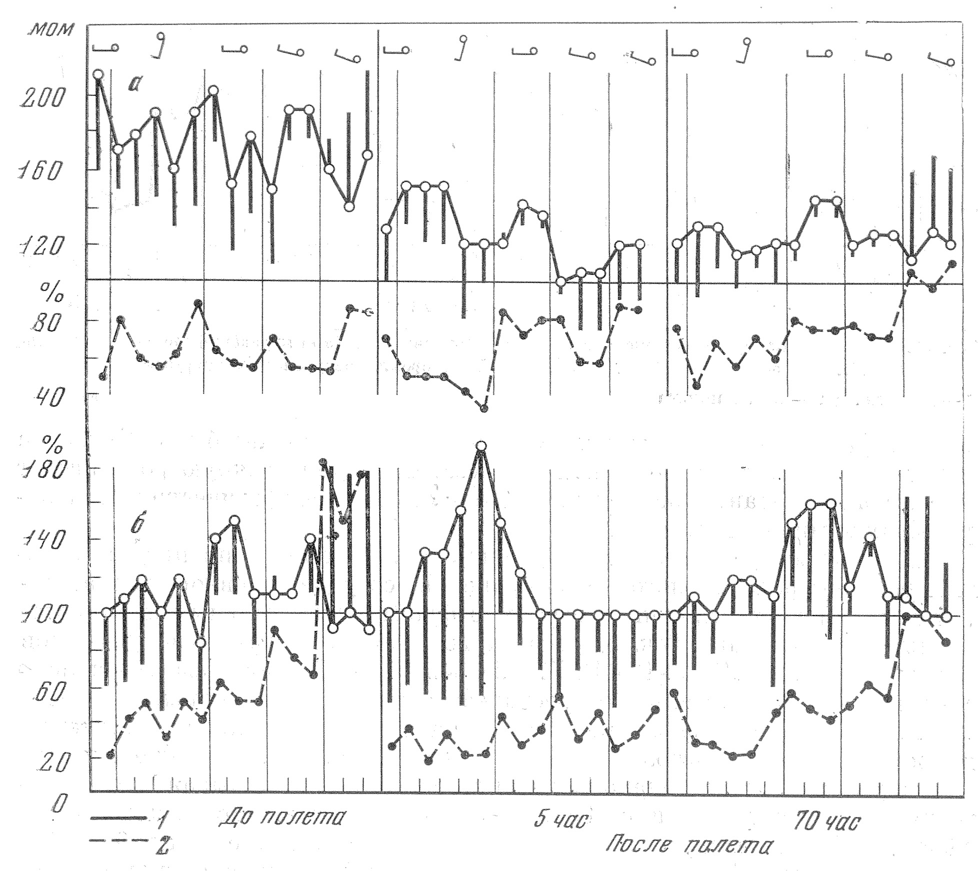



**Рис. 55. Реоэнцефалографические показатели при постуральных пробах у П. И. Климука (а) и В. В. Лебедева (б) после 8-суточного полета**

*1* — амплитуда анакроты; *2* — дикротический индекс; вертикальные столбики — разность между анакротой и катакротой; отметка времени — 1 мин.

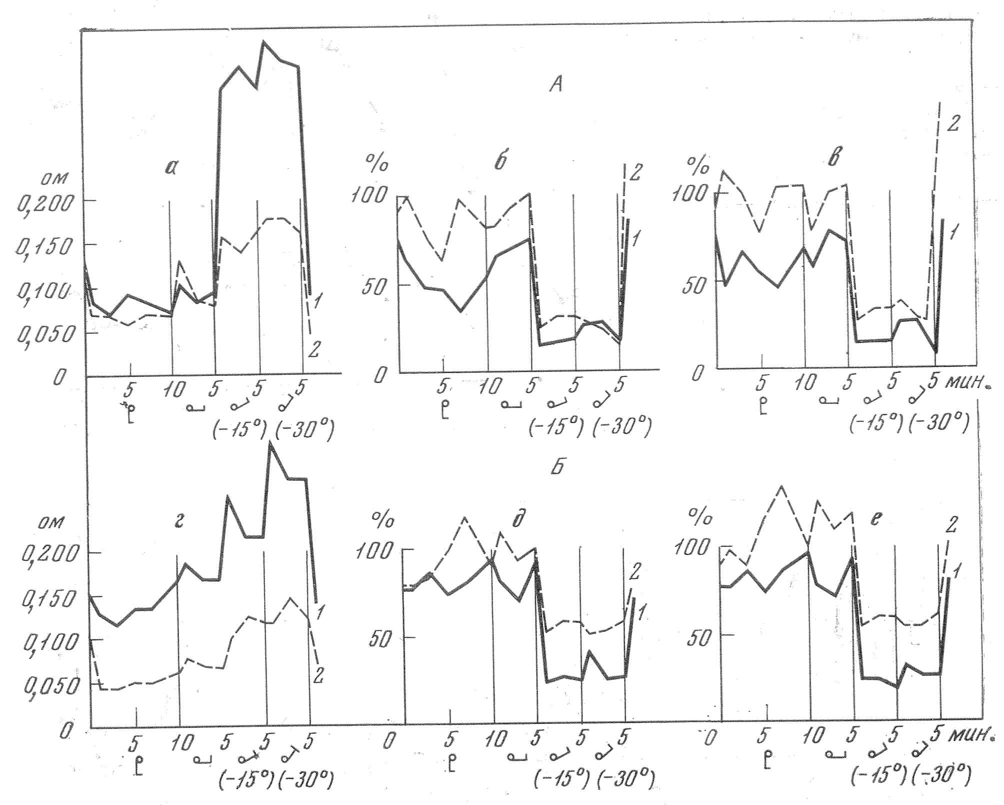



Рис. 56. Амплитуда (*а*, *г*), дикротический (*б*, *д*) и диастолический (*в*, *е*) индексы фронто-мастоидальных РЭГ В. Г. Лазарева (*А*) и О. Г. Макарова (*Б*) во время постуральных нагрузок

*1* — до полета; *2* — после полета

реоэнцефалограммы под влиянием невесомости не может быть объяснена только изменением артериального тонуса. Очевидно, важную роль играет перестройка механизмов венозного оттока его периферических и центральных компонентов.

Интересные данные были получены и при рассмотрении индивидуальных реакций регионарного кровообращения сосудов головного мозга, полученных при регистрации реограмм с фронтомастоидальных и бимастоидальных отведений. Так, до полета во время антиортостаза у членов экипажа корабля «Союз-12» В. Г. Лазарева и О. Г. Макарова отмечалось резкое увеличение амплитуды реоэнцефалографической волны, в особенности, в бимастоидальных отведениях, на фоне значительного снижения дикротического и диастолического индексов (рис. 56), т. е. происходило резкое увеличение кровенаполнения при одновременном выраженном снижении артериолярного и особенно венозного тонуса. Это указывало на развитие субкомпенсированного венозного застоя в мозге как в бассейне внутренней сонной артерии, так и в вертебро-базиллярной системе, которое сопровождалось ощущением тяжести и прилива крови к голове.

У командира корабля «Союз-13» П. И. Климука при проведении антиортостатических исследований до полета имело место выраженное (в два



раза) увеличение кровенаполнения сосудов головного мозга в вертебро-базиллярной системе на фоне заметного возрастания диастолического индекса (рис. 57); при этом увеличение пульсового кровенаполнения в бассейне внутренней сонной артерии было незначительным. У В. В. Лебедева, наоборот, в ответ на антиортостаз, наблюдалось небольшое увеличение пульсового кровенаполнения в вертебро-базиллярной системе и выраженное (в два раза) возрастание пульсового кровенаполнения в бассейне внутренней сонной артерии. Следовательно, у первого во время антиортостаза развился компенсированный венозный застой преимущественно в вертебро-базиллярной системе, а у второго — в бассейне внутренней сонной артерии.

Поскольку антиортостаз в известной степени имитирует общие и регионарные гемодинамические сдвиги, возникающие в условиях невесомости, то наблюдавшееся у В. Г. Лазарева и О. Г. Макарова в первые сутки полета чувство прилива, тяжести и боли в голове, по-видимому, были обусловлены развитием у них указанного выше недостаточно компенсированного внутричерепного венозного застоя. Правомерность такого предположения тем более очевидна, что у П. И. Климука и В. В. Лебедева, у которых в предполетном периоде во время антиортостаза, как уже указывалось выше, развился умеренно выраженный и хорошо компенсированный венозный застой преимущественно в одном из исследованных сосудистых бассейнов мозга (рис. 57, 58), как в первые дни, так и на протяжении всего полета ощущений выраженного прилива крови к голове не было.

После окончания 2-суточного полета у членов экипажа космического корабля «Союз-12» В. Г. Лазарева и О. Г. Макарова во время антиортостаза пульсовое кровенаполнение головного мозга во фронтомастоидальных и бимастоидальных отведениях увеличивалось в значительно меньшей степени, чем до полета на фоне менее выраженного снижения тонуса артериол и вен.

У членов экипажа корабля «Союз-13» П. И. Климука и В. В. Лебедева после окончания 8-суточного полета при антиортостазе в —15° наблюдалось небольшое увеличение пульсового кровенаполнения в бассейне внутренней сонной артерии на фоне повышения сосудистого тонуса. Пульсовое кровенаполнение в вертебро-базиллярной системе при этом даже несколько уменьшилось на фоне резкого повышения сосудистого тонуса. Во время антиортостаза в —30° пульсовое кровенаполнение в бассейне внутренней сонной артерии увеличилось лишь на первых минутах пробы; в последующем оно уменьшилось и полностью компенсировалось до исходного уровня у обоих космонавтов на фоне заметного повышения тонуса сосудов. В вертебро-базиллярной системе колебания пульсового кровенаполнения у П. И. Климука не превышали предполетный уровень, записанный в горизонтальном положении (рис. 59).

Результаты этих исследований показывают, что адаптационный эффект 8-суточного пребывания в невесомости, способствующий повышению устойчивости сосудистой системы мозга и компенсации явлений венозного полнокровия, при антиортостазе более выражен, чем после 2-суточного полета, особенно в вертебро-базиллярной системе. Таким образом, по мере увеличения длительности космических полетов от двух до восьми суток появляются отдельные признаки адаптации регионарной гемодинамики

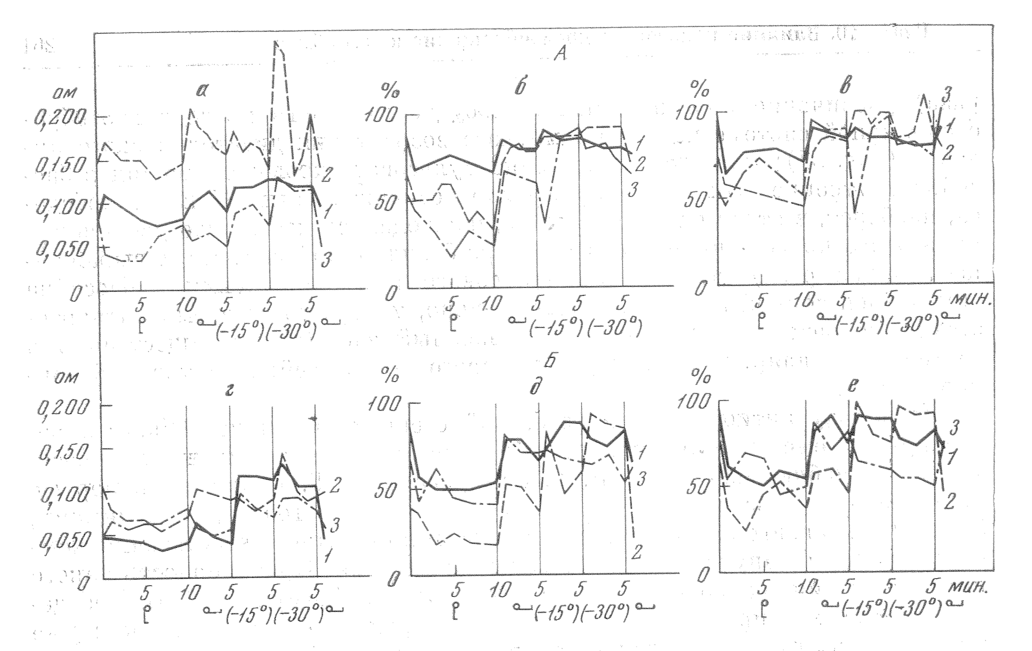



Рис. 57. Амплитуда (*а*, *г*), дикротический (*б*, *д*) и диастолический (*в*,*е*) индексы фронто-мастоидальных (А) и бимастоидальных (*Б*) РЭГ П. И. Климука во время постуральных нагрузок

*1* — до полета; *2* — через 4 часа после приземления; *3* — через 3 суток после полета

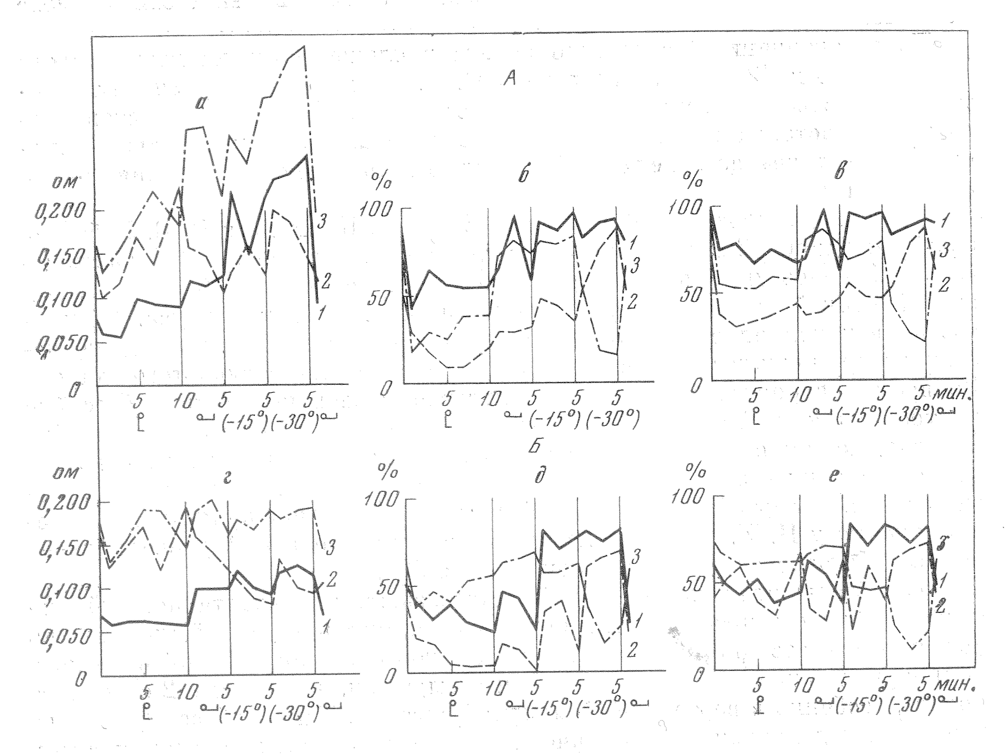



Рис. 58. Амплитуда (*а*, *г*), дикротический (*б*, *д*) и диастолический (*в*,*е*) индексы фронто-мастоидальных (А) и бимастоидальных (*Б*) РЭГ В. В. Лебедева во время постуральных нагрузок

Обозначения те же, что на рис. 57



головного мозга к антиортостатической нагрузке и, тем самым, по-видимому, к невесомости.

Представленные данные по исследованию отдельных сосудистых бассейнов головного мозга могут иметь большое прогностическое значение. В частности, наблюдавшиеся у П. И. Климука на 2—3-и сутки полета головокружение и рвота могут быть связаны с развитием в состоянии невесомости застойной (циркуляторной) ишемии в вертебро-базиллярной системе.

Возможность такого преходящего нарушения кровообращения в этом сосудистом бассейне вытекает из предполетных особенностей реакций этой системы на антиортостаз и выраженных явлений артериолярной и венозной гипотонии, наблюдавшихся после полета. У больных с венозным застоем головного мозга часто наблюдается головокружение, иллюзия переворачивания (Холоденко, 1963). Последние наблюдались у В. В. Лебедева в день приземления во время постуральных нагрузок: сразу же после возвращения из вертикального положения в горизонтальное у него появилось ощущение, что он «опущен вниз головой» (этому соответствовало на РЭГ снижение диастолического индекса и появление венозной волны). После перевода из антиортостаза в горизонтальное положение он испытывал ощущение положения «вверх головой», что соответствовало уменьшению амплитуды РЭГ и возрастанию диастолического индекса (см. рис. 58). Эти иллюзии перевернутого положения, появлявшиеся во время перераспределения крови в организме, исчезли через 1—1,5 мин. Особенности изменения реоэнцефалограмм во время постуральных воздействий позволяют считать, что основной причиной отмеченных иллюзий перевернутого положения тела является перестройка кровоснабжения головного мозга под влиянием гравитационных возмущений. Возможность возникновения иллюзии перевернутого положения в связи с перераспределением крови нами была показана ранее (Яруллин и др., 1972).

Почти полное отсутствие в день приземления явлений внутричерепного венозного застоя во время антиортостаза свидетельствует о наличии устойчивой адаптации сосудистой системы мозга к невесомости, а компенсаторное повышение тонуса мозговых сосудов, предотвратившее развитие венозного застоя в мозге при антиортостазе является, по-видимому, проявлением последствий этой адаптации. В этом убеждает тот поразительный факт, что указанные компенсаторные церебральные гемодинамические реакции были более значительно выражены после 8-суточного полета чем после 2-суточного т. е. у тех, кто вернулся на Землю после более полной адаптации к невесомости, а не в начале ее.

Таким образом, данные сравнительного изучения индивидуальных особенностей реакций бассейна внутренней сонной артерии и вертебрально-базиллярной системы на антиортостаз приобретают важное значение для прогнозирования характера гемодинамических сдвигов в этих сосудистых бассейнах в полете, особенно в остром периоде адаптации к невесомости.

Очевидно, что под влиянием невесомости реакции системы кровообращения на антиортостатическую нагрузку изменяются у всех космонавтов. Следовательно, антиортостатическая нагрузка является эффектным способом исследования влияния невесомости на организм человека.

**Рис. 59. Динамика регионарных реограмм и фотоплетизмограмм П. И. Климука во время ортостатической и антиортостатической нагрузок до (*А*) и после (*Б*) полета**

*а* — фон; *б* — первая минута антиортостаза (—15°); *в*, *г* — первая и пятая минуты антиортостаза (—30°); *А*: *1* — реограмма в фронто-мастоидальном отведении справа; *2* — ее первая производная; *3* — РЭГ в бимастоидальном отведении; *4* — реограмма правого легкого; *5* — реограмма правой голени; *6* — ЭКГ; *Б*: *1* — РЭГ в фронто-мастоидальном; *2* — в бимастоидальном отведении; *3* — реограмма правого легкого; *4* — ее первая производная; *5* — реограмма правой голени; *6* — ЭКГ; *7* — фотоплетизмограмма среднего пальца руки; *8* — фотоплетизмограмма большого пальца ноги

По мере увеличения времени пребывания космонавта в невесомости в пределах до 18 суток характер ответных реакций системы кровообращения на антиортостатическую нагрузку изменяется в сторону уменьшения степени гемодинамических сдвигов в ответ на предъявляемую нагрузку, что в свою очередь свидетельствует о повышении эффективности противодействия перераспределения крови в краниальном направлении. При этом наблюдался определенный параллелизм динамики состояния системного кровообращения и кровотока головы. В то же время регионарное кровообращение головы по сравнению с системной гемодинамикой более специфично отражает компенсаторно-приспособительные изменения регуляции под влиянием невесомости. В связи с этим результаты антиортостатических проб могут быть использованы как для прогнозирования устойчивости организма человека к воздействию невесомости, так и для определения характера и степени выраженности перестройки регуляции системы кровообращения в результате космического полета.

Таким образом, изучение реакций системного и регионарного кровообращения на противоположно направленные гравитационные возмущения после пребывания человека в состоянии невесомости, отражают специфический процесс перестройки регуляторных механизмов гемодинамики и открывают новые пути к пониманию сложного процесса изменения состояния организма человека в полете и в период реадаптации.

# Глава 11. ОБМЕННО-ЭНДОКРИННЫЕ ПРОЦЕССЫ

## ВОДНО-СОЛЕВОЙ ОБМЕН И ФУНКЦИЯ ПОЧЕК

С увеличением продолжительности космических полетов в СССР и США перед исследователями возникла проблема медицинского обеспечения безопасности длительного пребывания человека в невесомости и возвращения к условиям земной гравитации. Данные, полученные во время орбитальных полетов и в период послеполетного обследования космонавтов и астронавтов, свидетельствовали об изменениях функционального состояния многих физиологических систем организма, в том числе метаболических процессов. В последнее время большое внимание уделяется изучению природы изменений водно-солевого обмена в условиях невесомости и в послеполетном периоде, которые являются одной из причин отмеченных у космонавтов функциональных нарушений.

При послеполетном обследовании у большинства космонавтов наблюдали снижение веса тела, уменьшение объема циркулирующей крови, увеличение показателя гематокрита и количества гемоглобина, нарушение обмена кальция (Fischer, 1967; Mack et al., 1967; Lutwak et al., 1969; Балаховский, Наточин, 1973). Для выяснения механизмов отмеченных изменений водно-солевого обмена важное значение имело специальное исследование функционального состояния почек — основного органа, регулирующего водно-электролитный гомеостаз организма. Первой работой, специально посвященной изучению деятельности почек во время и после космического полета, было исследование функционального состояния почек у членов экипажа космического корабля «Восход» (Наточин и др., 1965). У космонавтов через двое суток после полета была выявлена пониженная способность почек быстро выводить жидкость после водной нагрузки. По мнению авторов, вероятнее всего, эти изменения могли быть объяснены высоким уровнем секреции антидиуретического гормона (АДГ) после полета. Небольшое число наблюдений не позволило авторам сделать выводов относительно значимости этих изменений и прогнозирования функционального состояния почек при более длительных полетах.

При первых кратковременных полетах человека в космическое пространство невозможно было провести исследования изменения метаболических процессов. До недавнего времени не было данных и о величине экскреции мочи и электролитов во время полета. Во время 14-суточного космического полета корабля «Джемини-7» у астронавтов Бормана и Ловелла при ежесуточном сборе мочи было выявлено увеличение экскреции почками жидкости, солей и отрицательный азотистый баланс. Причины и механизмы увеличенного в условиях невесомости выведения почками жидкости и электролитов оставались невыясненными.



Для изучения природы изменений водно-солевого обмена и функционального состояния почек при осуществлении полетов по программе «Союз» необходимо было ответить на следующие вопросы: 1) будет ли увеличиваться дефицит жидкости и солей пропорционально длительности космических полетов; 2) изменится ли характер экскреции почками воды и электролитов с увеличением сроков полетов; 3) какова роль клубочкового и канальцевого аппаратов почки, а также различных отделов нефрона в отмеченных послеполетных изменениях выведения воды и электролитов; 4) являются ли выявленные сдвиги водно-солевого обмена результатом изменения функционального состояния почек или систем регуляции их деятельности; 5) какова взаимосвязь между послеполетными изменениями осмо- и ионорегулирующей функций почек и состоянием циркуляторного гомеостаза.

Изучение деятельности почек при полетах большей продолжительности, которые планировались по программе «Союз», имело большое значение, поскольку в развитии послеполетной ортостатической неустойчивости, снижении физической работоспособности и переносимости ускорений, а также в изменении биоэлектрической активности миокарда существенная роль принадлежит сдвигам водно-электролитного гомеостаза (Taliaferro, 1965; Greenleaf, 1966; Какурин, Лебедев, 1974). Единственным условием для создания системы профилактических мероприятий, направленной на предупреждение развития неблагоприятных последствий космического полета является выявление причин и механизмов этих изменений, в том числе водно-солевого обмена и функции почек.

При составлении программы изучения водно-солевого обмена и функции почек учитывалось, что почка является органом с очень большими резервными возможностями. В зависимости от состояния водно-электролитного баланса она может изменять мочеотделение в десятки раз, подобным образом может регулироваться и выведение солей. В связи с этим для исследования процесса и характера адаптации к условиям невесомости и последующей земной гравитации, а также для выявления резервных возможностей почки программа обследования на кораблях «Союз» включала изучение состояния почек и систем их регуляции как при различных видах профессиональной деятельности космонавтов, так и в условиях применения специфических нагрузочных проб.

В дни, отведенные для клинико-физиологического обследования, проводили учет выпитой жидкости и выделенной мочи, ежесуточно определяли вес тела. В моче и сыворотке крови определяли калий, натрий методом фотометрии пламени на фотометре «Цейс-III», фосфор-молибдатным методом на фотоколориметре, серу — титрометрически с индикатором нитхромазо, кальций и магний — спектрофотометрически на атомном абсорбциометре «Jarrel Ash», хлориды — методом меркурометрического титрования; креатинин — по реакции Яффе с пикриновой кислотой; осмотическую концентрацию — путем установления криоскопической точки при помощи полупроводникового термистера; содержание воды в крови — методом высушивания. Для оценки функционального состояния почек до и через 36—40 час. после полета проводилась проба с водной нагрузкой (20 мл воды на 1 кг веса тела). При этом рассчитывались показатели, характеризующие осмо-, волюмо- и ионорегулирующую функции почек (Наточин и др., 1965; Григорьев, Козыревская, 1970).

Во время полета корабля «Союз-9» были собраны пробы мочи, которые анализировали после их доставки на Землю. Каждый из космонавтов имел три емкости, в которые была собрана суточная моча: отдельно за 1-е, 2-е и 18-е сутки полета. При таком сборе мочи исключалась возможность ошибок в измерении диуреза, как это неоднократно имело место при отборе мочи из мочеприемников во время полета «Джемини-7» (Lutwak et al., 1969).

В течение первых суток после завершения полетов по программе «Союз» по сравнению с предполетным периодом у всех космонавтов было отмечено снижение выведения почками жидкости в среднем с 1111±48 до 733±41 мл в сутки ($P<0,001$).

Уменьшение диуреза происходило, несмотря на увеличение водопотребления, в среднем с 1292±60 до 2319±133 мл в сутки ($P<0,001$). В первые сутки после приземления все космонавты отмечали усиленное чувство жажды, в результате чего с момента посадки корабля до следующего утра (неполные сутки) многие космонавты выпивали до 2—3 л жидкости (табл. 40). Исключение составляли космонавты А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов, которые после завершения 18-суточного полета на корабле «Союз-9» выпивали практически такое же количество жидкости, как и в предполетный период. Значительное увеличение потребляемой жидкости и уменьшение диуреза в послеполетный период привело к увеличению

Таблица 40. **Водопотребление и диурез (в мл) у космонавтов до и после полета**

| Космонавт | До полета | | | 1-е сутки после приземления | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Поступление жидкости без учета влаги пищи | Диурез | Разница между потреблением и выведением жидкости | Поступление жидкости без учета влаги пищи | Диурез | Разница между потреблением и выведением жидкости |
| Г. Т. Береговой | 860 | 660 | +200 | 3500 | 600 | +2900 |
| В. А. Шаталов * | 1200 | 1020 | +180 | 2350 | 645 | +1705 |
| Е. В. Хрунов | 1800 | 1200 | +600 | 2350 | 1030 | +1320 |
| А. С. Елисеев * | 1400 | 1200 | +200 | 2250 | 1000 | +1250 |
| Б. В. Волынов | 1500 | 1370 | +130 | 1800 | 1065 | +735 |
| Г. С. Шонин | 1080 | 890 | +190 | 2650 | 880 | +1770 |
| В. Н. Кубасов | 1200 | 950 | +250 | 2750 | 705 | +2050 |
| А. В. Филипченко | 1400 | 1400 | 0 | 2630 | 655 | +1975 |
| В. В. Горбатко | 1200 | 985 | +215 | 1620 | 730 | +890 |
| В. Н. Волков | 1400 | 955 | +445 | 2930 | 590 | +2330 |
| В. А. Шаталов ** | 1250 | 1015 | +235 | 2200 | 580 | +1620 |
| А. С. Елисеев ** | 1300 | 1180 | +120 | 2300 | 875 | +1425 |
| А. Г. Николаев | 1100 | 1040 | +60 | 1300 | 690 | +600 |
| В. И. Севастьянов | 1400 | 1400 | 0 | 1400 | 665 | +735 |
| В. Г. Лазарев | — | 1245 | — | 2450 | 465 | +1985 |
| О. Г. Макаров | — | 1370 | — | 2600 | 575 | +2005 |
| П. И. Климук | — | 1145 | — | 2810 | 805 | +2005 |
| В. В. Лебедев | — | 975 | — | 1850 | 630 | +1220 |
| M±m | 1292±59 | 1111±48 | +202±43 | 2319±133 | 733±41 | +1584±146 |

* Полет в январе 1969 г. ** Полет в октябре 1969 г.



разности между этими величинами, в среднем с 202±43 до полета до 1584±146 мл в сутки после полета ($P<0,001$). Следовательно, в первые сутки после завершения кратковременных полетов восполнение водного дефицита обеспечивается, с одной стороны, путем увеличенного потребления жидкости, а с другой — уменьшенного ее выведения.

Косвенным подтверждением явлений гипогидратации организма после космических полетов являлась потеря веса тела, точнее динамика его восстановления в послеполетный период. Уменьшение веса тела как после первых полетов на кораблях «Восток», «Восход», «Меркурий» и «Джемини», так и после полетов, выполненных по программе «Союз», составляла 3—6%, независимо от продолжительности пребывания в невесомости, а также некоторых различий в питании, газовом составе атмосферы кабины корабля и др.

Потеря веса тела у космонавтов после полетов могла быть результатом не только гипогидратации, но и следствием уменьшения мышечной массы тела. Однако после космических полетов продолжительностью до пяти суток не было обнаружено сколько-нибудь выраженного увеличения экскреции азотистых продуктов (Балаховский и др., 1971), что свидетельствовало об отсутствии атрофических процессов в тканях. На основании этого можно предположить, что потеря веса тела при кратковременных полетах не связана с потерей мышечной массы, а обусловлена в основном гипогидратацией организма. Подтверждением этого является характер восстановления веса тела космонавтов после приземления. К исходу первых суток после завершения полета у членов экипажей кораблей «Союз-5, 6, 7, 8» восстановилось в среднем 50% дефицита веса тела. Ко вторым суткам эта величина уже не превышала индивидуальных суточных колебаний в предполетном периоде.

Потеря веса тела после 2—5-суточных полетов сопровождалась увеличением показателя гематокрита, снижением содержания воды в крови (рис. 60), тенденцией к возрастанию осмолярности и концентрации натрия в сыворотке крови (табл. 41). На основании этого было высказано предположение, что гипогидратация после кратковременных полетов сопровождается уменьшением объема плазмы крови. Это подтвердилось прямыми наблюдениями американских исследователей, которые, нашли у астронавтов сразу после космических полетов на кораблях «Джемини» снижение объема плазмы крови. Причем, при полетах продолжительностью до восьми суток объем крови уменьшался практически в одинаковой степени (Fischer et al., 1967). Так, у членов экипажа «Джемини-4», совершивших 4-суточный полет, объем крови уменьшился на 332 и 820 мл, объем плазмы — на 118 и 492 мл. У членов экипажа «Джемини-5» после 8-суточного полета снижение объема крови составило 592 и 547 мл, а плазмы — 209 и 106 мл. На основании этих данных можно было полагать, что большая часть дефицита жидкости в организме связана с потерей внеклеточной жидкости. Однако при послеполетном обследовании астронавтов Ловелла и Бормана, совершивших 14-суточный полет, объем циркулирующей крови практически не отличался от дополетного. При этом объем плазмы даже несколько возрос, но уменьшился объем эритроцитарной массы (Fischer et al., 1967). Учитывая, что в этом полете был обнаружен отрицательный азотистый баланс (Lutwak et al., 1969) и явления гипогидратации на фоне неизменного объема циркулирующей крови,

Таблица 41. **Содержание электролитов (в мэкв/л) и осмотическая концентрация (мосм/л) в сыворотке крови у космонавтов до (1) и после (2) полетов**

| Космонавт | Натрий | | Калий | | Кальций | | Осмот. концен. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| **Г. Т. Береговой** | 145 | 148 | 4,0 | 3,7 | 4,6 | 5,0 | 304 | 310 |
| **В. А. Шаталов** * | 139 | 157 | 5,1 | 5,65 | 5,0 | 5,0 | 304 | 311 |
| **Б. В. Волынов** | 139 | 144 | 3,9 | 3,7 | 5,0 | 4,6 | 300 | 303 |
| **А. С. Елисеев** | 139 | 152 | 4,1 | 4,15 | 4,6 | 5,0 | 302 | 308 |
| **Е. В. Хрунов** | 139 | 144 | 4,1 | 4,15 | 4,8 | 4,8 | 301 | 305 |
| **Г. С. Шонин** | 137 | 139 | 4,1 | 3,9 | 4,6 | 5,4 | 290 | 294 |
| **В. Н. Кубасов** | 140 | 145 | 4,0 | 4,0 | 4,7 | 5,0 | 294 | 298 |
| **А. В. Филипченко** | 139 | 143 | 5,0 | 4,8 | 4,1 | 4,4 | 295 | 303 |
| **В. Н. Волков** | 140 | 139 | 4,9 | 5,1 | 4,8 | 4,8 | 297 | 300 |
| **В. В. Горбатко** | 135 | 139 | 4,5 | 4,1 | 4,5 | 4,8 | 290 | 295 |
| **В. А. Шаталов** ** | 148 | 150 | 3,8 | 3,85 | 4,7 | 4,4 | 301 | 299 |
| **А. С. Елисеев** ** | 139 | 139 | 4,0 | 4,2 | 4,8 | 4,4 | 300 | 294 |
| **А. Г. Николаев** | 152 | 147 | 5,0 | 4,0 | 4,4 | 4,9 | 302 | 303 |
| **В. И. Севастьянов** | 147 | 143 | 5,9 | 4,5 | 5,2 | 5,25 | 298 | 301 |
| **В. Г. Лазарев** | 147 | 145 | 4,5 | 4,4 | 6,0 | 7,2 | 294 | 298 |
| **О. Г. Макаров** | 152 | 145 | 4,5 | 4,6 | 5,6 | 5,6 | 300 | 300 |
| **П. И. Климук** | 145 | 150 | 4,1 | 3,5 | 4,6 | 3,8 | 297 | 304 |
| **В. В. Лебедев** | 145 | 149 | 4,4 | 4,0 | 5,0 | 4,4 | 296 | 300 |
| **M±m** | 142,7±1,3 | 145,8±1,0 | 4,4±0,13 | 4,2±0,1 | 4,8±0,1 | 4,9±0,2 | 298±1,1 | 302±1,2 |

* Полет в январе 1969 г. ** Полет в октябре 1969 г.

возникло предположение, что при более продолжительных полетах причиной снижения веса тела может явиться также уменьшение мышечной массы и следовательно объема клеточной жидкости.

Результаты, подтверждающие эту точку зрения, были получены при обследовании членов экипажа корабля «Союз-9». После 18-суточного полета у А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова потеря веса по величине была такой же, как и после кратковременных полетов. Однако характер восстановления веса был иным (Козыревская и др., 1972). К концу первых суток после приземления у обоих космонавтов восстановилось так же, как и при кратковременных полетах, около 50% веса тела. В дальнейшем же до конца первой недели после полета вес тела у них практически не изменялся, и полного восстановления не произошло даже к 30-м суткам после завершения полета. Отрицательный азотистый баланс [экскреция азота на 3—4 г превышала содержание его в суточном рационе (Балаховский, Наточин, 1973)], а также уменьшение периметров нижних конечностей после полета у обоих космонавтов (Какурин, Лебедев, 1974) объяснялись уменьшением мышечной массы тела во время космического полета.

Это явление могло сказаться и на характере гипогидратации при длительных полетах. Если при кратковременных полетах уменьшение объема жидкости происходило в основном за счет внеклеточного про-



странства, то при более длительных полетах бóльшая часть дефицита воды организма приходилась на внутриклеточную жидкость. Это было подтверждено прямыми исследованиями, выполненными после завершения полета космического корабля «Аполлон-14» (Berry, 1971), а также нашими данными, свидетельствующими об отсутствии у членов экипажа «Союз-9» явлений гемоконцентрации. Следовательно, по мере увеличения длительности полетов внутрисосудистый объем может восполняться путем перераспределения жидкости между водными секторами.

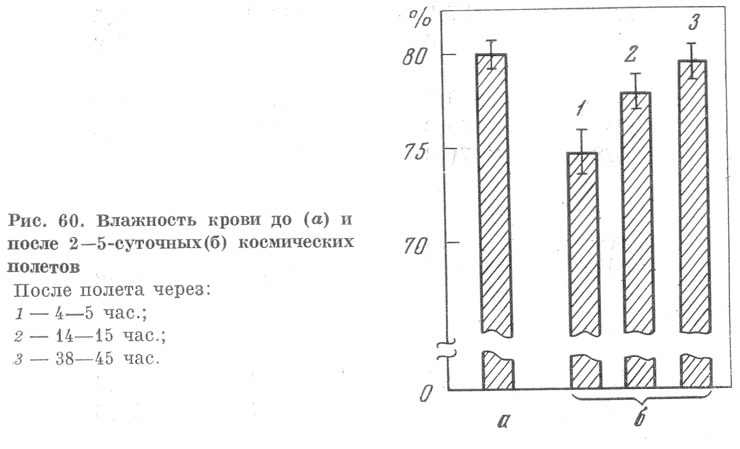



**Рис. 60. Влажность крови до (а) и после 2—5-суточных (б) космических полетов**

После полета через:
1 — 4—5 час.;
2 — 14—15 час.;
3 — 38—45 час.

В связи с этим интересно провести анализ состояния чувства жажды у космонавтов после полетов различной продолжительности. Так, после завершения полетов продолжительностью до восьми суток, т. е. в те сроки, когда развивается гипогидратация за счет внеклеточной (в основном внутрисосудистой) жидкости, все космонавты испытывали острое чувство жажды, из-за которого они в течение первых 2—3 час. выпивали до литра жидкости. У космонавтов, находившихся в условиях невесомости 18 суток, имела место клеточная гипогидратация, но не было выраженного чувства жажды.

Учитывая данные Фитзимонса (Fitzsimons, 1972) о наличии раздельных механизмов нервного контроля питья при клеточной и внеклеточной гидратации, следует отметить, что чувство жажды значительно более активно у тех космонавтов, которые теряли жидкость за счет внутрисосудистого объема. Таким образом, значительная часть дефицита веса тела после полетов связана с потерей организмом жидкости. При этом в зависимости от продолжительности полетов характер гипогидратации может быть различным, хотя степень ее практически не изменяется. Поэтому в первые сутки после всех полетов организм задерживает жидкость для восполнения ее потерь, имевших место в полете.

Одной из основных причин потери жидкости в полете, по мнению большинства исследователей (Наточин и др., 1965; Gauer, 1966; Григорьев, 1970, 1972; Berry, 1971; Natochin et al., 1973), является увеличение диуреза в результате подавления секреции АДГ и продукции альдостерона в ответ на характерное для невесомости перераспределение крови с увеличенным ее притоком к органам грудной клетки. Перерастяжение кровью устьев полых вен и предсердий воспринимается афферентными волокнами

Таблица 42. **Выведение почками жидкости (в мл/сутки) и электролитов (в мэкв/сутки) у космонавтов до, во время и после полета на корабле «Союз-9»**

| Сроки исследования, сутки | Объем мочи | Хлор | Натрий | Калий | Кальций |
|---|---|---|---|---|---|
| **А. Г. Николаев** | | | | | |
| До старта | | | | | |
| 30 | 1040 | 177,5 | 186,9 | 30,5 | 9,5 |
| 1 | 1125 | 239,4 | 265,2 | 54,6 | — |
| В полете | | | | | |
| 1 | 830 | 219,7 | 295,5 | 35,9 | 13,0 |
| 2 | 840 | 180,3 | 126,9 | 39,0 | 10,0 |
| 18 | 1028 | 171,8 | 186,9 | 49,0 | 20,5 |
| После полета | | | | | |
| 1 | 690 | 92,9 | 104,3 | 25,6 | 11,5 |
| 2* | 2000 | 95,8 | 91,3 | 15,4 | 18,0 |
| 3 | 1410 | 188,7 | 169,6 | 38,5 | 11,5 |
| **В. И. Севастьянов** | | | | | |
| До старта | | | | | |
| 30 | 1430 | 288,7 | 334,8 | 71,8 | 14,0 |
| 1 | 1185 | 216,9 | 230,4 | 71,3 | — |
| В полете | | | | | |
| 1 | 800 | 129,6 | 204,3 | 27,9 | 12,0 |
| 2 | 750 | 121,1 | 147,8 | 38,5 | 12,5 |
| 18 | 830 | 135,2 | 186,9 | 43,6 | 15,5 |
| После полета | | | | | |
| 1 | 665 | 64,8 | 126,1 | 30,8 | 11,0 |
| 2 | 1430 | 135,2 | 204,3 | 43,6 | 15,0 |
| 3* | 3140 | 256,3 | 313,1 | 53,8 | 15,5 |

* Дни водных нагрузок

блуждающего нерва как кажущееся увеличение объема циркулирующей крови. К центрам антидиуретического рефлекса передаются тормозящие (отрицательные) импульсы. В результате снижается продукция АДГ, что приводит к уменьшению водопроницаемости дистальных отделов нефрона и увеличению экскреции воды. Такая точка зрения нашла подтверждение в наземных модельных экспериментах (Hunt, 1967; Epstein et al., 1971; Григорьев, 1972; Gauer, 1973; Козыревская и др., 1974).

Из приведенных в табл. 42 данных видно, что выведение почками жидкости в первые двое суток полета было даже несколько меньшим, чем в период, предшествующий полету. Эти данные позволяют предположить, что в условиях космического полета гипогидратация была вызвана не столько увеличенным выведением жидкости, сколько уменьшенным ее поступлением в организм. Подтверждением этого могут явиться данные анализа водного баланса у космонавта Г. Т. Берегового.

Во время полета корабля «Союз-3» было установлено, что космонавт потреблял значительно меньше воды, чем в дополетный период. Количе-



ство ее с учетом метаболической воды и жидкости пищи составило за четверо суток полета лишь 4,2 л. Общее количество выделенной жидкости было около 6,6 л. Следовательно, отрицательный водный баланс равнялся 2,4 л. При этом выведение жидкости в абсолютных цифрах было небольшим и отрицательный баланс определялся в основном значительным снижением поступления воды в организм.

Однако эти единичные наблюдения не позволяют сделать окончательных выводов. Тем более, что сбор мочи на борту удалось провести лишь у двух космонавтов, к тому же в первые часы невесомости даже в этом полете по техническим причинам моча не была собрана. Несомненно, причины гипогидратации во время космического полета являются предметом дальнейших исследований.

Обезвоживание может вызвать серьезные нарушения в организме. Однако мнения исследователей о степени водного дефицита, вызывающего функциональные расстройства в организме, различны. Некоторые авторы (Ladell, 1955; Greenleaf et al., 1966) считают даже полезной при выполнении задания, связанного со стрессовыми воздействиями, потерю воды в 2—3% от веса тела. По их данным, потеря жидкости до 4% не вызывает значительных функциональных расстройств, не считая «снижения почечной активности». В противоположность этой точке зрения имеется утверждение, что любой даже самый незначительный водный дефицит вреден для организма (Saltin, 1964). По данным Адольфа (1952), при обезвоживании организма на 3—4% (в условиях жаркого климата и обычного двигательного режима) развивается ортостатическая гипотензия.

А. Г. Гинецинский (1963) и другие исследователи считают, что гипогидратация в 1—2% уже вызывает заметные нарушения в жизнедеятельности организма, а потеря 5—6% веса тела за счет жидкости приводит к снижению умственной и физической работоспособности, быстрому утомлению, слабости, при 15—20% гипогидратации наступает смерть. Аналогичные данные приводит Марриот (Marriot, 1950), но полагает, что при 6%-ном водном дефиците (средняя степень гипогидратации по его классификации) еще сохраняется работоспособность, она значительно снижается и утрачивается только при тяжелой степени обезвоживания (7—14%).

Специалисты космической медицины установили, что при обезвоживании более 3—4% снижается ортостатическая устойчивость и переносимость перегрузок (Taliaferro et al., 1965; Greenleaf et al., 1966), резко уменьшается продолжительность работы с максимальной нагрузкой (Saltin, 1964). По их мнению, гипогидратация более 4% — «серьезный физиологический стресс», особенно, если она развивается быстро. Таким образом, по мнению большинства авторов, обезвоживание более 5—7% небезопасно для жизнедеятельности человека.

При космических полетах по программе «Союз» мы не наблюдали гипогидратации более 6% от веса тела. Однако при возможных аварийных ситуациях нельзя исключить более выраженного обезвоживания организма, что может потребовать в этих условиях специальных мер нормализации водного и солевого баланса. Это тем более важно, что в условиях невесомости у космонавтов притуплено чувство жажды и рассчитывать на самоконтроль не всегда представляется возможным. Порог жажды, вычисленный Фитзимонсом (Fitzsimons, 1972) на основании экспери-

Таблица 43. **Выведение электролитов (мэкв) почками до (1) и в первые сутки после (2) полета**

| Космонавт | Натрий | | Калий | | Кальций | | Магний | | Хлор | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Г. Т. Береговой | 55 | 34 | 56 | 28 | 6,5 | 6,2 | 3,5 | 2,5 | 53 | 34 |
| В. А. Шаталов * | 142 | 118 | 52 | 35 | 9,8 | 9,6 | 7,8 | 6,0 | 132 | 64 |
| Б. В. Волынов | 169 | 176 | 43 | 54 | 8,4 | 9,4 | — | — | 124 | 145 |
| А. С. Елисеев * | 194 | 165 | 40 | 51 | 8,4 | 11,6 | — | — | 160 | 96 |
| Е. В. Хрунов | 220 | 206 | 74 | 58 | 10,2 | 11,5 | — | — | 217 | 160 |
| Г. С. Шонин | 179 | 144 | 44 | 37 | 3,3 | 21,9 | 8,7 | 6,2 | 148 | 61 |
| В. Н. Кубасов | 165 | 116 | 58 | 35 | 8,4 | 17,8 | 10,0 | 8,2 | 170 | 67 |
| А. В. Филипченко | 230 | 109 | 90 | 39 | 9,0 | 9,3 | 7,2 | 3,5 | 270 | 129 |
| В. Н. Волков | 140 | 71 | 50 | 26 | 5,4 | 7,1 | 10,0 | 3,3 | 160 | 38 |
| В. В. Горбатко | 147 | 97 | 49 | 31 | 9,4 | 8,6 | 7,9 | 5,0 | 163 | 50 |
| В. А. Шаталов ** | 145 | 88 | 40 | 39 | 9,0 | 4,6 | 7,6 | 5,1 | 140 | 54 |
| А. С. Елисеев ** | 195 | 102 | 50 | 42 | 8,0 | 11,1 | 5,2 | 4,1 | 103 | 34 |
| А. Г. Николаев | 266 | 104 | 55 | 26 | 9,3 | 11,3 | — | — | 240 | 93 |
| В. И. Севастьянов | 230 | 126 | 71 | 31 | 13,7 | 10,8 | 9,6 | 10,0 | 214 | 65 |
| В. Г. Лазарев | 212 | 23 | 68 | 30 | 20,4 | 9,9 | 13,7 | 6,9 | — | — |
| О. Г. Макаров | 239 | 29 | 86 | 36 | 15,8 | 10,5 | 12,4 | 5,9 | — | — |
| П. И. Климук | 253 | 87 | 65 | 40 | 15,6 | 13,3 | 8,0 | 7,1 | — | — |
| В. В. Лебедев | 225 | 43 | 38 | 61 | 9,8 | 9,7 | 8,2 | 9,0 | — | — |
| M±m | 189± 12,5 | 102± 12,0 | 57± 3,7 | 39± 2,0 | 10,0± 1,2 | 10,8± 0,9 | 8,6± 0,7 | 5,9± 0,6 | 164± 15,2 | 78± 10,9 |

* Полет в январе 1969 г. ** Полет в октябре 1969 г.

ментальных данных, и соответствующий у человека потере 0,8% веса тела, в условиях пониженной гравитации, по-видимому, становится другим. В этом плане интересно сообщение астронавта Армстронга, отметившего с момента перехода к невесомости отсутствие чувства жажды, которое вновь отчетливо появилось после прилунения. Несомненно, что изучение причины изменения чувства жажды в условиях пониженной и повышенной гравитации имеет большое практическое значение и потребует в дальнейшем специальных исследований. Поиск возможных путей предотвращения обезвоживания и нормализации водного баланса организма применительно к условиям космического полета, особенно в период его завершения с целью предупреждения ортостатической неустойчивости и снижения физической работоспособности, не теряет своей значимости и в настоящее время.

После завершения космических полетов различной продолжительности у всех космонавтов наблюдалось уменьшение экскреции почками жидкости и электролитов (табл. 43). В первые сутки после приземления экскреция натрия снижалась в среднем со 189±12,5 до 102±3,7 мэкв ($P<0{,}01$). Экскреция почками хлора также уменьшалась в среднем со 163,8±15,2 до 77,6±11,0 мэкв ($P<0{,}01$). Причем снижение выведения поч-



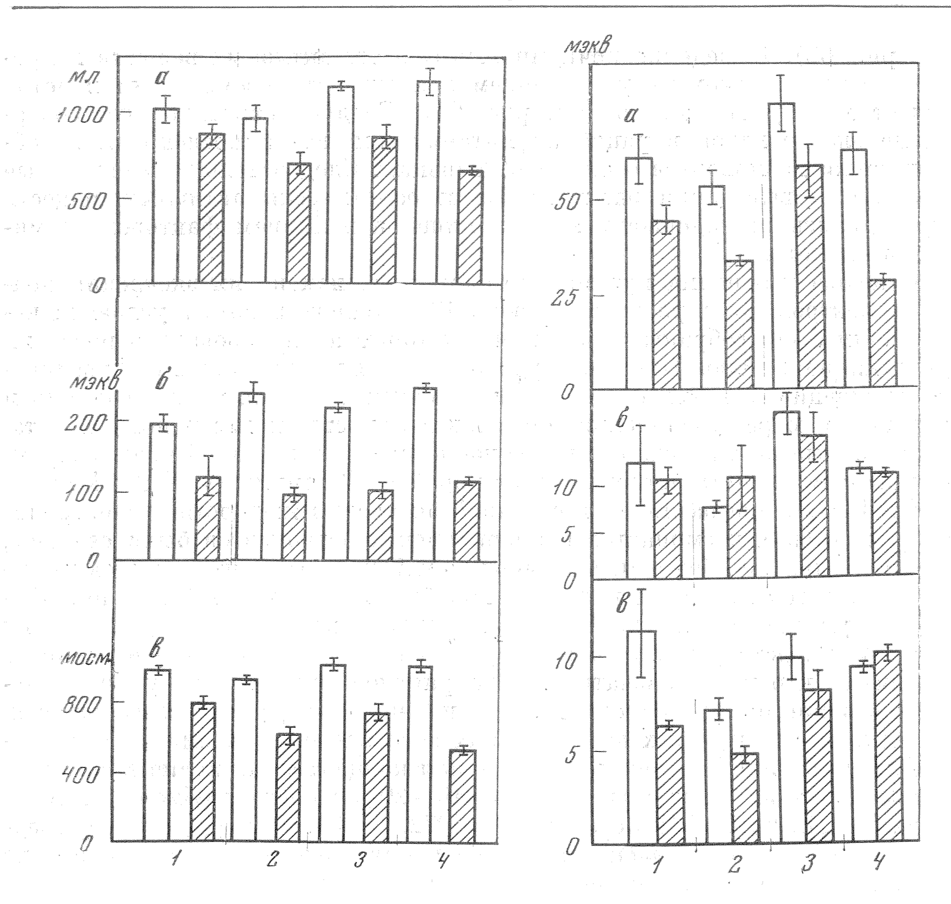



**Рис. 61. Экскреция почками жидкости (*а*), натрия (*б*), осмотически активных веществ (*в*) до (светлые столбики) и в первые сутки после (заштрихованные столбики) космических полетов различной продолжительности**

Полет (в сутках): *1* — 2—3; *2* — 4—5; *3* — 6—8; *4* — 18

**Рис. 62. Экскреция почками калия (*а*), кальция (*б*) и магния (*в*) до (светлые столбики) и в первые сутки после (заштрихованные столбики) космических полетов различной продолжительности**

*1—4* — то же, что на рис. 61

ками натрия и хлора было практически одинаковым при полетах продолжительностью до 18 суток (рис. 61).

Выведение почками калия и магния после космических полетов, выполненных по программе «Союз», у большинства космонавтов также уменьшалось, достигая в среднем 38,8±2,5 и 5,9±0,62 мэкв в сутки, при дополетных величинах 57,2±3,7 и 8,6±0,69 мэкв в сутки, соответственно (см. табл. 43). По мере увеличения продолжительности полетов экскреция калия в первые сутки после приземления снижалась еще в большей степени, а магния увеличивалась, достигая после полетов продолжительностью более пяти суток предполетных значений (рис. 62). Величина экскреции почками кальция независимо от длительности пребывания в условиях невесомости практически не отличалась от дополетных значений

(см. рис. 62). Выведение почками осмотически активных веществ в противоположность этому с увеличением длительности космических полетов существенно уменьшалось (см. рис. 61). Следует отметить, что содержание электролитов в рационах питания при до- и послеполетном обследовании космонавтов было очень близким. Следовательно, выявленные различия в выведении электролитов и осмотически активных веществ определялись не содержанием их в пище, а влиянием факторов космического полета.

С целью уточнения причин послеполетных изменений экскреции почками электролитов в различные сроки 18-суточного полета в условиях невесомости были собраны пробы мочи, которые анализировались после их доставки на Землю. При этом удалось выявить относительное увеличение экскреции почками осмотически активных веществ, калия, кальция и магния по мере увеличения продолжительности космического полета. Аналогичные результаты были получены при анализе проб мочи, собранных во время полета астронавтов на корабле «Джемини-7» (Lutwak et al., 1969). Небольшие различия в суточной экскреции жидкости и электролитов у советских космонавтов и американских астронавтов были связаны, по-видимому, с особенностями выполняемой работы, длительностью полетов, составом атмосферы в кабине корабля и условиями питания. Выведение указанных электролитов значительно превышало поступление их с пищей. Следствием этого явилось уменьшение содержания этих ионов в организме, что могло оказать неблагоприятное влияние на функциональное состояние различных систем. Так, изменение сердечной деятельности, выявленное у некоторых американских астронавтов во время полета, могло быть связано с отмеченным снижением концентрации калия в сыворотке крови, а также с уменьшением на 10—20% общего и обменоспособного калия (Berry, 1971; Leach et al., 1972, 1973). В связи с этим предотвращение дефицита электролитов во время полета является одной из важнейших профилактических задач космической медицины.

На основании полученных данных можно заключить, что уменьшение экскреции с мочой электролитов после полетов было результатом перехода к условиям земной гравитации и обусловлено необходимостью восполнения их потерь за время пребывания в невесомости. Следовательно, задержка жидкости и солей, отмеченная в первые сутки после приземления, является адекватной и направлена на быстрейшее восстановление водно-солевого равновесия организма, характерного для условий земной гравитации.

Несмотря на значительное изменение в выведении почками жидкости и электролитов во время и после полетов содержание их в крови у большинства космонавтов изменялось незначительно (см. табл. 41). Следует отметить увеличение осмолярности и концентрации натрия в сыворотке крови после кратковременных полетов, что так же, как и значительное уменьшение содержания воды в крови, является косвенным показателем уменьшения объема циркулирующей плазмы. Выявленные изменения уже ко 2—3-м суткам после приземления нормализовались и практически не отличались от исходных значений (см. рис. 60). По мере увеличения продолжительности полетов наблюдали тенденцию к повышению содержания в сыворотке крови магния (в меньшей степени кальция) и снижение концентрации калия (см. табл. 41).



По-видимому, сдвиги в содержании электролитов в сыворотке крови после более длительных полетов были результатом изменения обмена веществ, а, возможно, и ионорегулирующей функции почек во время невесомости. Безусловно, существенная роль в указанных изменениях принадлежала особенностям полета. Так, значительные сдвиги белкового и минерального обмена, выявленные во время и после 18-суточного полета у А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова (Балаховский, Наточин, 1973), вероятно, были следствием, как уже отмечалось, уменьшения мышечной массы, связанного с ограничением в течение длительного времени двигательной активности (Какурин, Лебедев, 1974). Это же могло быть причиной большего, чем у других космонавтов, увеличения выведения калия во время полета и снижения его содержания в сыворотке крови и моче сразу после приземления. Механизмы измененной экскреции почками калия во время и сразу после длительных космических полетов требуют дальнейшего целенаправленного изучения.

На основании представленных данных можно предположить, что после кратковременных полетов определяющими в изменении функционального состояния почек явились гемодинамические сдвиги. При более длительных полетах к циркуляторным нарушениям присоединяются и метаболические, происходящие в результате иного уровня обмена веществ в невесомости (Berry, 1971). Подтверждением этому являются выявленные после космических полетов различной продолжительности изменения в осморегулирующей функции почек.

У большинства космонавтов сразу после космических полетов отмечалось уменьшение осмотической концентрации мочи. Причем, если после космических полетов продолжительностью до пяти суток причиной снижения осмолярности мочи было уменьшение концентрации электролитов, главным образом натрия и хлора, то после более длительных полетов осмотическая концентрация мочи была сниженной из-за меньшего содержания в ней мочевины. Учитывая, что после приземления практически у всех космонавтов уменьшалась также и величина диуреза, естественным было отмеченное снижение экскреции почками осмотически активных веществ.

При анализе результатов, полученных при исследовании осморегулирующей функции почек, было выявлено несоответствие между величиной диуреза и осмотической концентрацией мочи. Это выражалось в том, что сразу после окончания полета на фоне сниженного диуреза осмотическая концентрация мочи не увеличивалась (как в обычных физиологических условиях), а уменьшалась (рис. 63). Концентрация натрия, калия, хлора в первых послеполетных пробах мочи также значительно снижалась. После полетов продолжительностью до пяти суток восстановление обычного соотношения между величинами этих показателей происходило уже на вторые сутки, а после более длительных — только на 3—5 сутки после приземления. Вероятно, во время длительных полетов организм теряет в большей степени соли, чем жидкость, в результате этого после полета ретенция осмотически активных веществ была большей, чем воды.

Аналогичные изменения экскреции почками жидкости и ионов были получены нами во время и после длительных наземных экспериментов с моделированием ряда физиологических эффектов невесомости в условиях иммерсии и антиортостатической гипокинезии (Григорьев, 1972; Козырев-

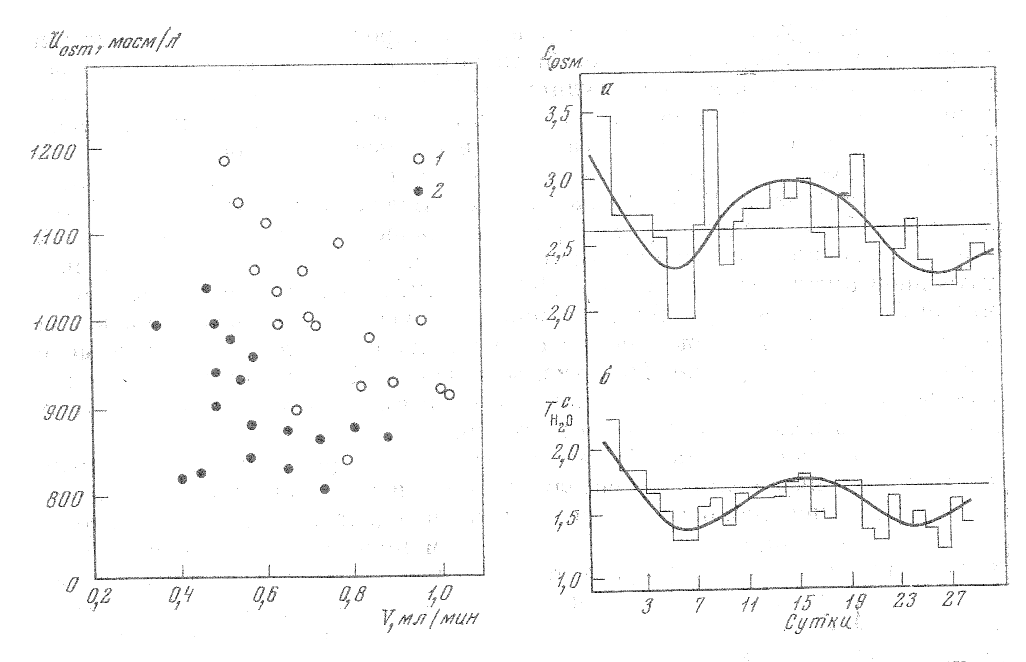


Рис. 63. Соотношение между величиной диуреза ($V$) и осмотической концентрацией мочи ($U_{osm}$) до (1) и в первые сутки после (2) 2—8-суточных космических полетов

Рис. 64. Изменение величины осмотического клиренса (*а*) и реабсорбции осмотически свободной воды (*б*) во время 30-суточной клиностатической гипокинезии (—2° —6°)

ская и др., 1974; Шульженко и др., 1974). При этом во время длительных экспериментов была выявлена характерная волнообразность в выведении почками осмотически активных веществ, реабсорбции осмотически свободной воды (рис. 64), экскреции натрия (рис. 65), в изменении общей почечной гемодинамики. Периоды увеличения изучаемых показателей сменялись периодами снижения их значений. Выведение почками калия и кальция по мере увеличения экспериментального воздействия возрастало (см. рис. 65). Эта реакция со стороны почек, по-видимому, целесообразна и расценивается нами как проявление процесса адаптации к данным экспериментальным условиям. Вероятно, в условиях космического полета подобные явления также имеют место. Однако ограниченное число наблюдений во время полетов в настоящее время не позволяет сделать окончательных выводов относительно природы фазного изменения функции почек в условиях невесомости.

Для более детального анализа причин и механизмов отмеченных изменений в деятельности почек были проведены функциональные нагрузочные пробы. Водную нагрузку проводили через 36—40 час. после приземления, когда вес тела у большинства космонавтов приближался к исходному, проходило острое состояние стресса после посадки корабля и повышенное чувство жажды.

После 2—3-суточных полетов у всех космонавтов во время водной пробы отмечалось значительное уменьшение экскреции почками жид-



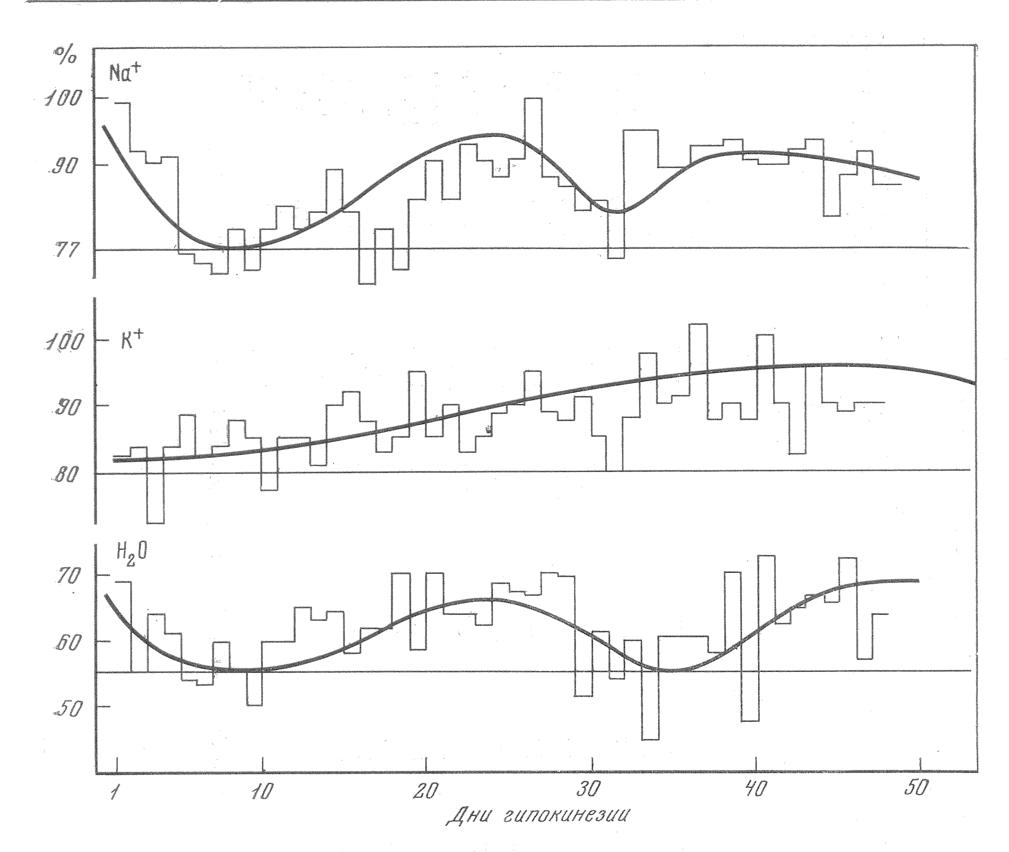


Рис. 65. Выведение почками натрия, калия и жидкости во время 49-суточной клиностатической гипокинезии

кости, осмотически активных веществ и электролитов (табл. 44, рис. 66). В период максимального диуреза осмотическая концентрация мочи увеличивалась с 68±5 до 128±19 мосм/л (P<0,02), а реабсорбция осмотически свободной воды снижалась (см. табл. 44, рис. 67). Уменьшение клиренса осмотически свободной воды с 10,9±0,7 до 5,9±1,3 мл/мин (P<0,02) свидетельствует о том, что в дистальном отделе нефрона в единицу времени реабсорбировалось жидкости больше, чем в дополетный период. Величина клубочковой фильтрации при этом практически не отличалась от исходной, поэтому отмеченные сдвиги определялись не снижением фильтрационной нагрузки, а изменением транспорта воды и электролитов в канальцах. Отмеченные сдвиги функции почек после кратковременных полетов можно объяснить изменением систем регуляции водно-солевого обмена. Вероятнее всего, наблюдаемое после полетов продолжительностью до трех суток увеличение реабсорбции воды в канальцах является результатом неполного подавления секреции АДГ после водной нагрузки.

После 5-суточных полетов наряду с уменьшением выведения жидкости (см. табл. 44, рис. 68), практически в той же степени, что и после менее длительных полетов, при водной пробе наблюдали увеличение

Таблица 44. **Показатели функции почек на фоне водной нагрузки до (1) и после (2) космического полета**

| Космонавт | Выведение жидкости за 4 часа, % от выпитой воды | | Максимальный диурез, мл/мин | | Минимальная осмотическая концентрация мочи, мосм/л | | Осмотическое очищение в период максимального диуреза, мл/мин | | Очищение осмотически свободной воды в период максимального диуреза, мл/мин | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| В. А. Шаталов ** | 101 | 36 | 15,0 | 7,0 | 58 | 181 | 2,85 | 4,06 | 12,15 | 2,94 |
| Б. В. Волынов | 86 | 65 | 13,3 | 7,8 | 72 | 132 | 3,19 | 3,35 | 10,11 | 4,45 |
| Е. В. Хрунов | 84 | 61 | 14,8 | 10,7 | 57 | 80 | 2,81 | 2,89 | 11,99 | 7,81 |
| А. С. Елисеев ** | 82 | 40 | 11,3 | 6,2 | 87 | 190 | 3,28 | 3,91 | 8,02 | 2,29 |
| Г. С. Шонин | 101 | 64 | 15,3 | 8,3 | 62 | 118 | 3,21 | 3,32 | 12,09 | 4,98 |
| В. Н. Кубасов | 97 | 71 | 16,0 | 16,7 | 76 | 80 | 4,16 | 4,41 | 11,84 | 12,29 |
| А. В. Филипченко | 107 | 46 | 17,0 | 6,2 | 52 | 212 | 2,89 | 4,40 | 14,11 | 1,80 |
| В. В. Горбатко | 94 | 50 | 13,7 | 9,5 | 80 | 129 | 3,70 | 4,08 | 10,0 | 5,42 |
| В. Н. Волков | 103 | 55 | 16,7 | 9,5 | 60 | 109 | 3,34 | 3,53 | 13,36 | 5,97 |
| В. А. Шаталов *** | 119 | 92 | 16,6 | 16,0 | 55 | 66 | 2,99 | 3,52 | 13,61 | 12,48 |
| А. С. Елисеев *** | 141 | 91 | 15,3 | 14,1 | 52 | 87 | 2,60 | 4,09 | 12,70 | 10,01 |
| А. Г. Николаев | 50 * | 79 * | 7,0 | 9,0 | 92 | 73 | 2,18 | 2,16 | 4,82 | 6,84 |
| В. И. Севастьянов | 70 * | 93 * | 10,8 | 11,3 | 76 | 74 | 2,75 | 2,77 | 8,10 | 8,53 |
| В. Г. Лазарев | 104 | 63 | 15,3 | 10,5 | 72 | 102 | 3,73 | 3,57 | 11,57 | 6,93 |
| О. Г. Макаров | 120 | 80 | 14,7 | 15,2 | 60 | 86 | 2,94 | 4,41 | 11,76 | 10,79 |
| П. И. Климук | 90 * | 66 * | 15,4 | 5,8 | 64 | 122 | 3,39 | 2,38 | 12,01 | 3,42 |
| В. В. Лебедев | 94 * | 67 * | 17,0 | 17,0 | 56 | 62 | 3,23 | 3,57 | 13,77 | 13,43 |
| M ± m | 96,6±4,96 | 65,8±4,2 | 14,4±0,6 | 10,6±0,9 | 66,5±2,9 | 111,9±9,14 | 3,13±0,11 | 3,55±0,17 | 11,29±0,55 | 7,08±0,90 |

* Выведение жидкости за 2 часа после нагрузки (в % от выпитой воды).
** Полет в январе 1969 г.
*** Полет в октябре 1969 г.



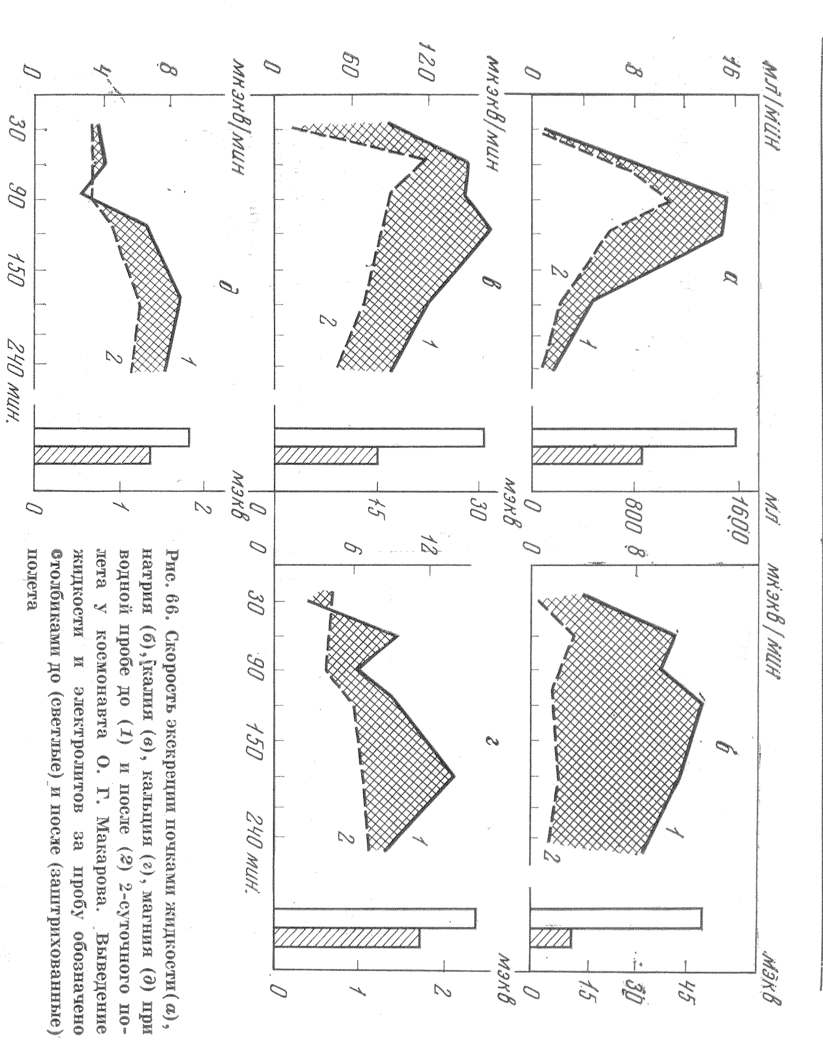
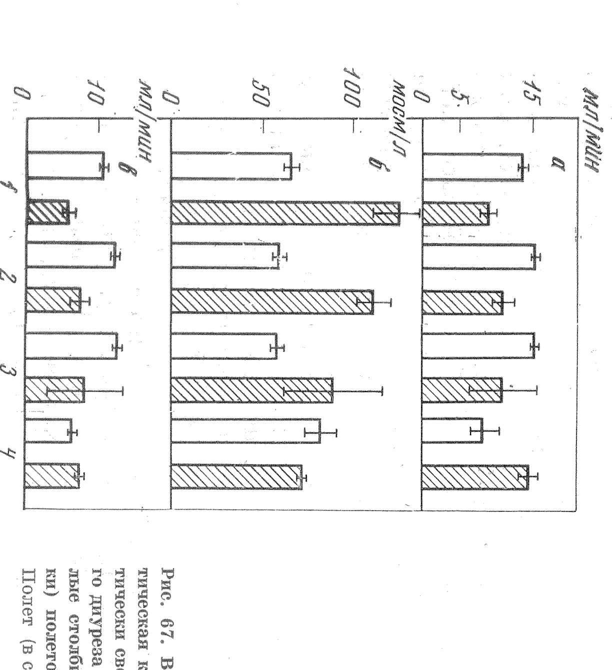



Рис. 66. Скорость экскреции почками жидкости (*а*), натрия (*б*), калия (*в*), кальция (*г*), магния (*д*) при водной пробе до (*1*) и после (*2*) 2-суточного полета у космонавта О. Г. Макарова. Выведение жидкости и электролитов за пробу обозначено столбиками до (светлые) и после (заштрихованные) полета



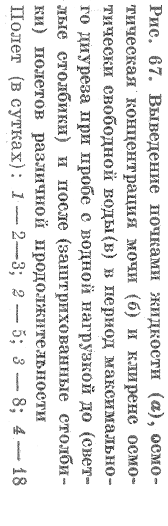



Рис. 67. Выведение почками жидкости (*а*), осмотическая концентрация мочи (*б*) и клиренс осмотически свободной воды (в) в период максимального диуреза при пробе с водной нагрузкой до (светлые столбики) и после (заштрихованные столбики) полетов различной продолжительности

Полет (в сутках): *1* — 2—3; *2* — 5; *3* — 8; *4* — 18

экскреции натрия в среднем на 9,4 мэкв ($P<0{,}05$) и кальция на 0,54 мэкв ($P<0{,}05$). При этом было установлено, что величина клубочковой фильтрации при пробе с водной нагрузкой у большинства космонавтов не отличалась от исходной (см. рис. 68). Следовательно, причина уменьшенного водного диуреза и увеличенного выведения натрия и кальция в изме-

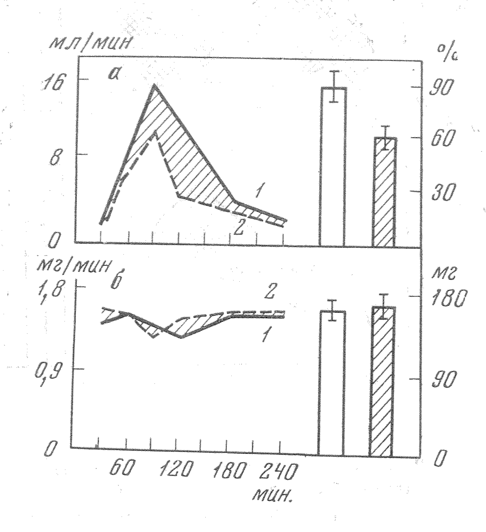


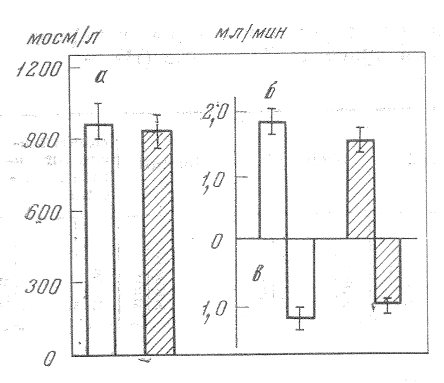

Рис. 68. Скорость экскреции почками жидкости (*а*) и креатинина(*б*) при водной пробе до(*1*) и после (*2*) 5-суточных космических полетов. Выведение жидкости и креатинина за пробу обозначено столбиками до (светлые) и после (заштрихованные) полета

нении их реабсорбции в канальцах почек. Нами были проанализированы возможные причины указанных выше изменений в деятельности почек.

Увеличение обратного всасывания воды в канальцах почек, как известно, регулируется в основном АДГ. Кроме того, проницаемость стенок канальцев может возрастать при недостаточном уровне кортикостероидов, изменении концентрации калия или кальция в сыворотке крови. Однако данные обследования космонавтов позволили исключить изменения в содержании калия и кальция в крови, а также снижение выведения кортикостероидов (Балаховский и др., 1973) при проведении водной пробы после 5-суточных полетов. На основании этого можно заключить, что изменение экскреции воды, обнаруженное при пробе с водной нагрузкой, происходит либо потому, что нагрузка водой в послеполетный период не приводит к полному подавлению секреции АДГ (как и при менее продолжительных полетах), либо изменяется деятельность клеток почечных канальцев.

Для того чтобы экспериментально проанализировать эти возможности изменения функционального состояния почек, у космонавтов изучалась способность почек к осмотическому концентрированию мочи. Для этого с вечера обследуемые не получали жидкости и пищи и у них исследовалась утренняя порция мочи перед водной нагрузкой. Анализ результатов пробы с ограничением водопотребления показал, что осмотическая концентрация мочи перед водной нагрузкой была такой же высокой, как при проведении аналогичной пробы перед полетом (рис. 69). Величина осмотического клиренса при этом также не изменялась. Это позволяет считать, что совокупная деятельность всех отделов нефрона, а также внутриклеточный метаболизм составляющих почку элементов, оставались нена-





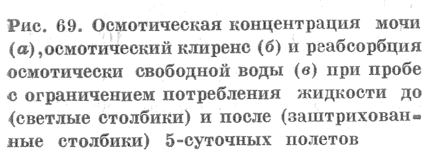



Рис. 69. Осмотическая концентрация мочи (*а*), осмотический клиренс (*б*) и реабсорбция осмотически свободной воды (*в*) при пробе с ограничением потребления жидкости до (светлые столбики) и после (заштрихованные столбики) 5-суточных полетов

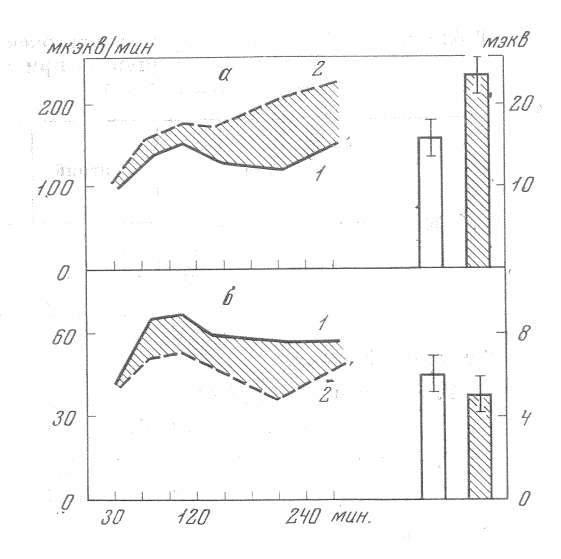



Рис. 70. Скорость экскреции почками натрия (*а*) и калия (*б*) при водной пробе до (*1*) и после (*2*) 5-суточных полетов. Выведение натрия и калия за пробу обозначено столбиками до (светлые) и после (заштрихованные) полета

рушенными. Следовательно, уменьшение у большинства космонавтов после 5-суточных полетов экскреции осмотически свободной воды на максимуме диуреза могло быть обусловлено неполным подавлением секреции АДГ, как и после 2—3-суточных полетов. Однако наряду с уменьшением клиренса осмотически свободной воды наблюдалось также возрастание осмотической концентрации мочи на максимуме водного диуреза (см. табл. 44, рис. 67). Это можно было бы объяснить увеличением проницаемости стенки дистального канальца для воды и повышением в результате этого всасывания ее в конечных отделах нефрона, если бы при этом параллельно не возрастала экскреция натрия во время водной пробы (рис. 70). Выполненные расчеты позволили установить, что в период максимального диуреза увеличение экскреции натрия было связано с уменьшением его реабсорбции в дистальном отделе нефрона.

Особенно наглядно различие деятельности систем регуляции водного и натриевого баланса было выявлено у тех космонавтов, почки которых сохраняли способность к нормальной экскреции жидкости на максимуме диуреза (В. Н. Кубасов, В. А. Шаталов). Результаты, полученные при обследовании этих космонавтов, показывают, что динамика выведения водной нагрузки в условиях пред- и послеполетного обследования была близкой. Однако очищение осмотически активных веществ и экскреция некоторых электролитов — натрия и калия, после полета была существенно выше. Следует отметить, что у О. Г. Макарова аналогичные изменения наблюдались уже после 2-суточного полета, когда на высоте диуреза отмечалось увеличение концентрации и выведения не только натрия, но и калия (табл. 45). Высокая экскреция жидкости и осмотически свободной воды при максимальном диурезе отмечалась также у В. В. Лебедева, а калия и кальция у П. И. Климука после 8-суточного полета (см. табл. 45).

Таблица 45. **Концентрация, скорость экскреции электролитов и воды в период максимального диуреза при водной пробе до (I) и после (II) 2- и 8-суточных полетов**

| Космонавт | | Диурез, мл/мин | $C_{H_2O}$, мл/мин | Натрий | | Калий | | Кальций | | Магний | | Осмотически активные вещества | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | мэкв/л | мкэкв/мин | мэкв/л | мкэкв/мин | мэкв/л | мкэкв/мин | мэкв/л | мкэкв/мин | мосм/л | мкосм/мин |
| **2-суточный полет** | | | | | | | | | | | | | |
| **В. Г. Лазарев** | I | 15,3 | 11,6 | 12,2 | 186,7 | 10,0 | 153,0 | 0,40 | 6,12 | 0,20 | 3,06 | 72 | 1102 |
| | II | 10,5 | 6,9 | 4,34 | 45,6 | 9,75 | 102,4 | 0,40 | 4,20 | 0,33 | 3,46 | 102 | 1071 |
| **О. Г. Макаров** | I | 14,7 | 11,8 | 8,7 | 127,9 | 6,7 | 98,5 | 0,40 | 5,88 | 0,58 | 8,53 | 60 | 882 |
| | II | 15,2 | 10,8 | 13,9 | 211,3 | 9,2 | 139,8 | 0,35 | 5,32 | 0,30 | 4,56 | 86 | 1307 |
| **8-суточный полет** | | | | | | | | | | | | | |
| **П. И. Климук** | I | 15,4 | 12,2 | 18,0 | 277,2 | 3,7 | 57,0 | 0,40 | 6,16 | 0,25 | 3,85 | 64 | 986 |
| | II | 5,8 | 3,4 | 19,6 | 144,3 | 11,8 | 68,8 | 1,40 | 8,16 | 0,66 | 3,85 | 122 | 707 |
| **В. В. Лебедев** | I | 17,0 | 13,8 | 16,0 | 272,0 | 7,3 | 124,1 | 0,53 | 9,01 | 0,28 | 4,76 | 56 | 955 |
| | II | 17,0 | 13,4 | 7,3 | 124,1 | 5,9 | 100,3 | 0,36 | 6,12 | 0,35 | 5,95 | 62 | 1054 |

Нарушение взаимосвязи между натриуретической и гидроуретической функциями почек, отмеченное при водной пробе после 5-суточных полетов, а иногда и после 2- и 8-суточных полетов, могло быть причиной того, что в первые сутки после приземления организм неадекватно реагирует на введение большого количества жидкости. В обычных условиях для поддержания гомеостаза после избыточного введения воды в организм экскреция солей изменяется мало, в то время как у космонавтов после полетов она значительно возрастает. В настоящее время трудно назвать конкретные физиологические механизмы, вызывающие снижение реабсорбции ионов натрия и калия в дистальном отделе нефрона при водной пробе, проводимой после полета. По-видимому, при уменьшении объема внутрисосудистой жидкости и увеличенной осмолярности сыворотки крови введение стандартной водной нагрузки воспринимается не столько как осмотический, сколько как объемный раздражитель, что приводит, естественно, к увеличенному выведению натрия.

После 18-суточного полета у обоих космонавтов при водной пробе было выявлено увеличение экскреции натрия и кальция, как и при менее длительных полетах. Однако в отличие от полетов продолжительностью до 18 суток повышенное выведение этих электролитов происходило на фоне возросшей в среднем на 26% экскреции воды (см. табл. 44, рис. 67). Осмотическая концентрация мочи на максимуме водного диуреза у обоих космонавтов практически не отличалась от дополетной. Величина клиренса осмотически свободной воды при этом не снижалась, как после менее длительных полетов, а даже несколько увеличивалась (см. рис. 67). Следовательно, после 18-суточного полета при водной пробе на



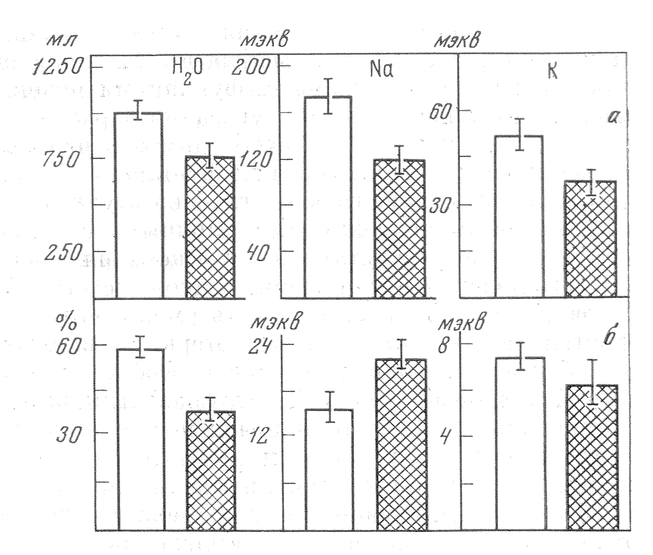



Рис. 71. Выведение почками воды, натрия и калия за сутки (*а*) и при пробе с водной нагрузкой (*б*) до (светлые столбики) и сразу после (заштрихованные столбики) 5-суточных полетов

высоте диуреза дистальный отдел нефрона был водонепроницаем в той же степени, что и до полета. Причиной этого могло быть либо адекватное для этой пробы снижение секреции АДГ при достаточно высоком объеме внутрисосудистой жидкости, либо снижение чувствительности почечных клеток к этому гормону. Последнее могло происходить из-за уменьшения концентрации калия в сыворотке крови, отмеченного у обоих космонавтов после полета (см. табл. 41).

Особого внимания заслуживает увеличение экскреции натрия и кальция после водной нагрузки. Расчетные данные свидетельствуют о снижении реабсорбции натрия как в проксимальном, так и в дистальном отделах нефрона. Увеличение экскреции кальция могло быть обусловлено изменением секреции паратгормона, отмеченным американскими исследователями после полетов аналогичной продолжительности (Leach et al., 1972, 1973). В свою очередь возросшее выведение кальция могло явиться одной из причин повышенной экскреции натрия, что неоднократно наблюдалось нами в различных наземных модельных экспериментах (Козыревская и др., 1974).

Таким образом, проба с водной нагрузкой после космических полетов позволила выявить рассогласование в деятельности систем водного и солевого обмена. В нормальных условиях информация с осморецепторов, а, возможно, и со специфических ионорецепторов позволяет системам регуляции дифференцированно реагировать при увеличении объема жидкости, связанного только с приемом воды или с поступлением в организм воды с солями. Избыточный прием жидкости с водной нагрузкой при еще нестабилизированной гемодинамике может восприниматься как необходимость экскреции в большом количестве воды, натрия и хлора (основных компонентов внутрисосудистой жидкости), что и отмечалось после 18-суточного полета.

Реакция организма на пребывание в невесомости, по-видимому, не завершается в первые дни после приземления и водная проба улавливает те сдвиги состояния систем регуляции, которые не выявляются по

данным суточного мочеотделения и составу мочи. Как видно из рис. 71, только водная нагрузка позволила выявить нарушение взаимосвязи между осмо- и ионорегулирующей функциями почек. При анализе мочи, собранной сразу после полета, указанного рассогласования не отмечалось. Это еще раз подчеркивает необходимость использования при обследовании космонавтов специфических функциональных нагрузочных проб, которые дают возможность более глубоко изучить характер изменений и выявить резервные возможности различных систем организма.

Полученные результаты дают основания заключить, что космический полет вызывает ряд изменений водно-солевого обмена и функции почек. В первую очередь следует назвать уменьшение выведения почками воды, несмотря на восполнение влагопотерь, вызванных полетом, и снижение после более длительных полетов способности реабсорбировать натрий и кальций при пробе с водной нагрузкой. Причины отмеченных изменений функционального состояния почек под влиянием факторов космического полета до настоящего времени окончательно не выяснены. Это связано с тем, что до последнего времени мы не имели исчерпывающей информации об изменении водно-солевого обмена в условиях невесомости. В связи с этим для понимания природы выявленных после полетов изменений деятельности почек возникла необходимость экспериментального воспроизведения физиологических состояний, с которыми встречаются космонавты при орбитальных полетах. С этой целью было проведено изучение особенностей водно-солевого обмена и механизмов его регуляции в условиях клино- и антиортостатической гипокинезии продолжительностью от 5 до 120 суток. Проведенные наземные эксперименты позволили предложить гипотезу о возможных механизмах выявленных изменений водно-солевого обмена и функции почек.

Считается общепризнанным, что после перехода человека к условиям невесомости происходит характерное перераспределение жидкости с переполнением кровью органов грудной клетки из-за снижения гидростатического давления столба крови. Это влечет за собой снижение продукции АДГ (Gauer, 1966, 1973) и увеличение диуреза, отмечаемое неоднократно многими исследователями. Однако в наземных экспериментах, где в условиях постельного режима воспроизводились свойственные невесомости снижение нагрузки на опорно-двигательный аппарат и уменьшение гидростатического давления столба крови, несмотря на введение испытуемым питуитрина, также отмечались характерные для этих условий реакции со стороны почек (Григорьев, 1972; Какурин и др., 1973). Это указывает на то, что снижение продукции АДГ является не единственной причиной увеличения экскреции почкой жидкости в первые сутки эксперимента и, по-видимому, невесомости. Действительно, в результате увеличения притока крови к органам грудной клетки снижается также продукция минералокортикоидов (Gowenloock et al., 1959; Mills et al., 1962; Epstein, 1971; и др.), что подтвердилось и в наземных модельных экспериментах. Снижение секреции альдостерона в этих условиях может происходить также в результате характерных сдвигов со стороны общей и почечной гемодинамики (Finnerty, 1962; Thurau et al., 1968; и др.) и изменения при этом продукции ренина и образования ангиотензина, стимулирующего секрецию минералокортикоидов. Повышение скорости клубочковой фильтрации и почечного кровотока, отмеченное нами и другими исследователями в условиях постельного режима и иммерсии (Graveline et al., 1962; Kaiser et al., 1969; Григорьев 1970; Шульженко и др., 1974), само по себе может приводить к увеличению диуреза.



После полета при переходе к условиям земной гравитации, когда вновь появляется гидростатическое давление столба крови, наблюдаются противоположные изменения нейрогуморальной регуляции гомеостаза — значительно увеличивается секреция и экскреция АДГ, альдостерона, ренина и ангиотензина (Berry et al., 1966; 1971; Leach et al., 1972, 1973; и др.), что ведет к задержке в организме жидкости и электролитов. Исследования после космических полетов клубочковой фильтрации, способности почек к осмотическому разведению и концентрированию мочи позволило предположить, что изменение деятельности систем регуляции почек, в том числе повышенная секреция АДГ, альдостерона и ренина, после возвращения на Землю, является компенсаторной реакцией на избыточную потерю внеклеточной жидкости в первые дни пребывания в космосе и характерное перераспределение крови при переходе к условиям с относительно повышенной гравитацией.

Таким образом, наблюдаемые изменения со стороны почек после перехода человека к условиям невесомости или к условиям земной гравитации носят адекватный характер и направлены в основном на приспособление организма к новым условиям существования.

При космических полетах продолжительностью до восьми суток изменение сосудистой афферентации в период перехода к условиям невесомости или последующей земной гравитации, вероятно, является основной причиной отмеченных сдвигов осмо- и ионорегулирующей функций почек и водно-солевого постоянства жидкостей внутренней среды организма. Изменения почечной экскреции жидкости и осмотически активных веществ, наблюдаемые в этих условиях, обусловлены необходимостью поддержания циркуляторного гомеостаза, так как нормальная деятельность сердечно-сосудистой системы возможна лишь при оптимальных соотношениях между емкостью сосудистого русла и объемом циркулирующей крови.

При более длительных полетах наряду с отмеченными наблюдаются и другие сдвиги в водно-электролитном обмене, имеющие иную природу, во многом обусловленную изменениями процессов метаболизма. Дальнейшее исследование функции почек и водно-солевого обмена при полетах большей продолжительности, проводимых по программе «Салют», позволят глубже изучить характер и механизмы адаптации этой системы к условиям космического полета и, в первую очередь, к невесомости.

## СОСТОЯНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕТАБОЛИЗМА У КОСМОНАВТОВ

У космонавтов, совершивших орбитальные полеты на космических кораблях «Союз-12», «Союз-13», «Союз-16» и на орбитальной станции «Салют-4», были проведены исследования процессов метаболизма по показателям белкового обмена (общий белок, альбумин, глобулины, креатинин, креатин, мочевина, мочевая кислота), углеводного обмена (глюкоза, молочная кислота, пировиноградная кислота), кислотно-щелочного равновесия, активности ряда ферментов (альдолаза, щелочная фосфатаза, креатин-

фосфокиназа, аспартатаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза, лактатдегидрогеназа и ее изоферменты), а также обмена кортикостероидов (11-оксикортикостероиды, 17-оксикортикостероиды, 17-кетостероиды) и катехоламинов (адреналин, норадреналин, дофа и дофамин). Материалом для проведения соответствующих биохимических определений служили венозная кровь и суточная моча.

Состояние процессов метаболизма оценивали по биохимическим показателям, полученным при предполетном и послеполетном обследовании космонавтов.

Следует отметить, что изученные показатели у всех космонавтов в период предполетного обследования в основном находились в пределах физиологической нормы, а отмеченные отклонения были незначительны и не имели существенного значения. В то же время у всех космонавтов в периоде предполетного обследования отмечалось некоторое напряжение адренокортикальной и симпато-адреналовой функции, что, на наш взгляд, является закономерным и адекватным ответом на проводившиеся в период клинико-физиологического обследования по довольно насыщенной программе различные пробы и исследования.

Исследования состояния метаболических процессов в послеполетном периоде показали наличие изменений (в сравнении с предполетными величинами) по большинству показателей у всех космонавтов. В то же время следует отметить, что выраженность и направленность изменений биохимических параметров была различной у разных экипажей космических кораблей.

В связи с тем, что продолжительность орбитальных полетов была неодинаковой, более целесообразно проанализировать состояние процессов метаболизма у каждого экипажа космического корабля в отдельности.

**«Союз-12».** Сравнение пред- и послеполетных данных по исследованию различных параметров обмена веществ у космонавтов В. Г. Лазарева и О. Г. Макарова, совершивших 2-суточный орбитальный полет, выявило наличие следующих изменений через сутки после завершения полета (табл. 46):

1. Повышение концентрации мочевины в крови у обоих космонавтов, причем если у В. Г. Лазарева оно было выражено незначительно, то у О. Г. Макарова оно почти в два раза превысило дополетный уровень и заметно превысило верхние границы нормы; уровень экскреции мочевины с мочой у обоих космонавтов при этом понижался до величин, уступающих нормальным.

2. Понижение концентрации мочевой кислоты в крови, но если у В. Г. Лазарева оно находилось на уровне верхних границ нормы, то у О. Г. Макарова все еще заметно превышало нормальные величины (предполетные величины у обоих космонавтов значительно превышали норму); экскреция мочевой кислоты с мочой при этом понижалась незначительно.

3. Выраженное (в 1,7—1,8 раза) повышение содержания глюкозы в крови, причем если у О. Г. Макарова оно находилось на уровне верхних границ нормы, то у В. Г. Лазарева даже несколько превышало ее.

4. Значительное повышение (в 3—3,5 раза) содержания пировиноградной кислоты в крови, причем если у О. Г. Макарова оно достигало верхней границы нормы, то у В. Г. Лазарева значительно превышало ее.

10 Заказ № 716



Таблица 46. Показатели обмена веществ у космонавтов, совершивших 2-суточный полет

| Показатель | Период исследования, сутки | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | до | | | после полета | | | |
| | 22 | 21 | 20 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| **В. Г. Лазарев** | | | | | | | |
| Мочевина крови, мг% | 45,0 | — | — | — | — | 50,0 | — |
| Мочевина мочи, г/24 часа | 15,2 | 23,1 | 27,0 | 18,7 | 18,0 | 16,6 | 9,6 |
| Мочевая кислота крови, мг% | 10,9 | — | — | — | — | 9,4 | — |
| Мочевая кислота мочи, мг/24 часа | 425 | 445 | 528 | 370 | 226 | 343 | 326 |
| Глюкоза, мг% | 60 | — | — | — | — | 111 | — |
| Пировиноградная кислота, мг% | 0,55 | — | — | — | — | 1,6 | — |
| Лактатдегидрогеназа, ед. | 111 | — | — | — | — | 63 | — |
| Щелочная фосфатаза, ед. | 34,0 | — | — | — | — | 28,0 | — |
| Аланинаминотрансфераза, ед. | 9,7 | — | — | — | — | 5,9 | — |
| Аспартатаминотрансфераза, ед. | 19,7 | — | — | — | — | 11,9 | — |
| 11-ОКС крови, мкг% | 14,0 | — | — | — | — | 16,9 | — |
| 11-ОКС мочи, мкг/24 часа | 38,7 | 175 | 246 | 63,1 | 36,1 | 174 | 200 |
| Адреналин мочи, мкг/24 часа | 13,6 | 20,4 | 11,4 | 31,4 | 17,2 | 21,2 | 9,3 |
| Норадреналин мочи, мкг/24 часа | 44,2 | 62,8 | 60,0 | 10,4 | 56,3 | 38,2 | 90,2 |
| Дофамин мочи, мкг/24 часа | 340 | 403,6 | 337 | 100 | 381 | 400,5 | 344,2 |
| **О. Г. Макаров** | | | | | | | |
| Мочевина крови, мг% | 36,3 | — | — | — | — | 70,0 | — |
| Мочевина мочи, г/24 часа | 16,5 | 25,0 | 13,4 | 37,8 | 23,0 | 13,0 | 27,7 |
| Мочевая кислота крови, мг% | 15,4 | — | — | — | — | 11,2 | — |
| Мочевая кислота мочи, мг/24 часа | 335 | 754 | 403 | 484 | 217 | 320 | 291 |
| Глюкоза, мг% | 65 | — | — | — | — | 101 | — |
| Пировиноградная кислота, мг% | 0,28 | — | — | — | — | 1,0 | — |
| Лактатдегидрогеназа, ед. | 121 | — | — | — | — | 67 | — |
| Щелочная фосфатаза, ед. | 49,0 | — | — | — | — | 31,0 | — |
| Аланинаминотрансфераза, ед. | 8,8 | — | — | — | — | 4,8 | — |
| Аспартатаминотрансфераза, ед. | 16,9 | — | — | — | — | 9,9 | — |
| 11-ОКС крови, мкг% | 14,4 | — | — | — | — | 18,1 | — |
| 11-ОКС мочи, мкг/24 часа | 78,4 | 316 | 226 | 81 | 87 | 196 | 236 |
| Адреналин мочи, мкг/24 часа | 8,3 | 15,2 | 7,8 | 14,7 | 12,9 | 14,0 | 16,6 |
| Норадреналин мочи, мкг/24 часа | 26,3 | 76,6 | 54,3 | 21,4 | 43,8 | 51,1 | 76,6 |
| Дофамин мочи, мкг/24 часа | 216 | 224,5 | 248,7 | 348 | 487,1 | 454 | 472,9 |

5. Значительное понижение (почти в 2 раза) общей активности лактатдегидрогеназы (ЛДГ), а также некоторое понижение активности щелочной фосфатазы и аланин- и аспартатаминотрансферазы у обоих космонавтов.

6. Некоторое повышение у обоих космонавтов концентрации 11-оксикортикостероидов (11-ОКС) в крови в пределах нормы, сопровождающееся выраженным повышением экскреции 11-ОКС с мочой за пределы нормальных величин.

7. Повышение экскреции с мочой адреналина, норадреналина и дофамина за пределы нормальных величин у обоих космонавтов.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что 2-суточный космический полет не оказал существенного влияния на состояние исследованных процессов метаболизма, однако отмеченное повышение экскреции с мочой 11-ОКС, а также катехоламинов и их предшественников свидетельствует о наличии незначительно выраженного состояния напряжения симпато-адреналовой системы.

**«Союз-13».** Сравнение данных, полученных при проведении пред- и послеполетного обследования у космонавтов П. И. Климука и В. В. Лебедева, совершивших 8-суточный полет, обнаружило изменения по большинству из показателей обмена веществ (табл. 47).

Исследования параметров белкового обмена выявили следующую картину. У обоих космонавтов отмечалось некоторое понижение концентрации мочевины крови через сутки и особенно через четверо суток после завершения полета, а также значительное понижение концентрации мочевой кислоты в крови у В. В. Лебедева через сутки после завершения полета и некоторое понижение — через четверо суток. Концентрация креатина крови значительно (более чем в 2 раза) понижалась у обоих космонавтов через четверо суток после полета, однако эти величины не выходили за пределы нормы. Что же касается экскреции креатинина с мочой, то она у обоих космонавтов через сутки после полета повышалась до уровня превышающего границы нормы, а в последующие сроки обследования возвращалась к нормальным величинам.

Исследования параметров углеводного обмена выявили значительное повышение (за пределы нормальных величин) концентрации глюкозы в крови у В. В. Лебедева через сутки и особенно через четверо суток после полета; у П. И. Климука подобные же изменения отмечались также через четверо суток после полета. Что же касается уровня молочной кислоты в крови, то он повышался у обоих космонавтов через сутки после полета и возвращался к исходному уровню через четверо суток после завершения полета. Содержание пировиноградной кислоты в крови у В. В. Лебедева через сутки после полета резко понижалось, однако на четвертые сутки оно возвращалось к исходному уровню.

Определение ферментативной активности обнаружило некоторое понижение общей активности ЛДГ наряду с понижением активности альдолазы у обоих космонавтов через сутки и через четверо суток после полета, а также значительное понижение (ниже нормы) активности щелочной фосфатазы у П. И. Климука через сутки и четверо суток после полета и у В. В. Лебедева — через четверо суток после завершения полета. В то же время активность аспартат- и аланинаминотрансфераз несколько повышалась у обоих космонавтов в оба срока обследования.



Таблица 47. Показатели обмена веществ у космонавтов, совершивших 8-суточный полет

| Показатель | Период исследований, сутки | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | до | | | после полета | | | | до | | | после полета | | | |
| | 22 | 21 | 20 | 1 | 2 | 3 | 4 | 22 | 21 | 20 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | П. И. Климук | | | | | | | В. В. Лебедев | | | | | | |
| Мочевина крови, мг% | — | 58,0 | — | — | 50,0 | — | 42,0 | — | 58,0 | — | — | 49,0 | — | 47,0 |
| Мочевая кислота крови, мг% | — | 7,9 | — | — | 7,08 | — | 6,9 | — | 9,3 | — | — | 6,15 | — | 7,54 |
| Креатинин крови, мг% | — | 1,1 | — | — | — | — | 0,96 | — | 0,9 | — | — | — | — | 1,01 |
| Креатинин мочи, г/24 часа | 1,9 | 1,9 | 2,1 | 1,55 | 2,45 | 1,97 | 2,12 | 2,2 | 1,5 | 2,28 | 1,31 | 2,28 | 1,77 | 1,92 |
| Глюкоза, мг% | — | 110 | — | — | 100 | — | 105 | — | 74 | — | — | 114 | — | 129 |
| Пировиноградная кислота, мг% | — | 0,39 | — | — | 0,34 | — | 0,40 | — | 0,69 | — | — | 0,07 | — | 0,9 |
| Молочная кислота, мг% | — | 8,4 | — | — | 14,8 | — | 10,0 | — | 10,8 | — | — | 16,4 | — | 8,4 |
| Лактатдегидрогеназа, ед. | — | 150 | — | — | 115 | — | 126 | — | 190 | — | — | 135 | — | 158 |
| Альдолаза, ед. | — | 2,7 | — | — | 1,5 | — | 2,0 | — | 3,2 | — | — | 2,0 | — | 2,0 |
| Щелочная фосфатаза, ед. | — | 26 | — | — | 13 | — | 13 | — | 27 | — | — | 20 | — | 16 |
| Аланинаминотрансфераза, ед. | — | 3,9 | — | — | 10 | — | 7,9 | — | 4,2 | — | — | 8,7 | — | 10,0 |
| Аспартатаминотрансфераза, ед. | — | 3,9 | — | — | 7,9 | — | 14 | — | 5,8 | — | — | 10 | — | 16 |
| Адреналин мочи, мкг/24 часа | 16,3 | 11,5 | 26,8 | 29,6 | 34,1 | 18,9 | 24,5 | 28,9 | 34,4 | 23,6 | 18,8 | 26,3 | 24,8 | 17,0 |
| Норадреналин мочи, мкг/24 часа | 104,1 | 76,0 | 96,7 | 16,7 | 13,6 | 27,8 | 19,1 | 13,7 | 40,1 | 30,6 | 68,6 | 81,2 | 73,5 | 42,4 |
| Дофа, мкг/24 часа | 76 | 29 | 57 | 127 | 116 | 93 | 78 | 103,5 | 86,6 | 101,0 | 104 | 117 | 108 | 83 |
| 11-ОКС мочи, мкг/24 часа | 63,5 | 70,5 | 53,6 | 89,6 | 140,9 | 147,7 | 104,4 | 67,6 | 35,9 | — | 69,3 | 108,7 | 94,5 | 89,8 |
| 17-ОКС мочи | | | | | | | | | | | | | | |
| суммарные, мг/24 часа | 6,96 | 5,85 | 10,75 | 12,75 | 13,59 | 13,33 | 14,99 | 4,34 | 3,29 | — | 10,1 | 10,64 | 8,66 | 15,37 |
| общие, мг/24 часа | 5,91 | 5,51 | 9,74 | 10,62 | 13,2 | 12,56 | 13,71 | 3,94 | 2,74 | — | 8,99 | 10,61 | 8,60 | 14,20 |
| свободные, % | 2 | 3 | 0,7 | 5 | 1 | 2 | 9 | 5 | 5 | — | 8 | 10 | 11 | 2 |
| связанные с глюкуроновой кислотой, % | 83 | 91 | 90 | 78 | 97 | 92 | 82 | 85 | 78 | — | 81 | 89 | 88 | 81 |
| связанные с серной кислотой, % | 15 | 6 | 9,3 | 17 | 2 | 6 | 9 | 10 | 17 | — | 11 | 1 | 1 | 17 |
| 17-КС мочи, мг/24 часа | 6,9 | 12,9 | 13,4 | 14,3 | 11,4 | 7,3 | 11,6 | 12,9 | 8,7 | — | 13,5 | 5,8 | 7,9 | 10,4 |

Наиболее выраженные изменения отмечались при исследовании функции коры надпочечников. Экскреция адреналина с мочой у обоих космонавтов значительно возрастала, превышая нормальные величины во все сроки обследования. Экскреция норадреналина у П. И. Климука значительно (почти в 4 раза) понижалась, а экскреция дофа значительно возрастала, превышая нормальные показатели. У обоих космонавтов во все сроки обследования отмечалось значительное повышение экскреции 11-ОКС, превышающее нормальные показатели, а также значительное повышение (за пределы нормы) суммарных, общих и связанных с глюкуроновой кислотой фракций 17-ОКС при одновременном значительном понижении (ниже нормы) свободных и связанных с серной кислотой фракций 17-ОКС. Экскреция 17-кетостероидов (17-КС) при этом понижалась до величин, уступающих нормальным.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что 8-суточный космический полет сопровождался некоторой перестройкой белкового, углеводного и энзимного метаболизма, однако эти изменения выражены незначительно и не имеют существенного значения. В то же время 8-суточный полет сопровождался выраженным состоянием напряжения функции коры надпочечников, что, очевидно, связано с вполне понятным эмоциональным напряжением.

**«Союз-16».** Сравнение данных, полученных при проведении пред- и послеполетного обследования у космонавтов А. В. Филипченко и Н. Н. Рукавишникова, совершивших 7-суточный полет, показало наличие изменений по большинству из исследованных показателей метаболизма (табл. 48).

При исследовании параметров белкового обмена отмечалось значительное повышение концентрации мочевины в крови (за пределы нормы) у Н. Н. Рукавишникова сразу после завершения полета, а также значительное понижение экскреции мочевой кислоты с мочой у А. В. Филипченко на первые сутки после приземления с последующим повышением до уровня, превышающего норму, и на третьи сутки после приземления; у Н. Н. Рукавишникова была отмечена подобная динамика экскреции мочевой кислоты с мочой, однако ее величины как на первые, так и на третьи сутки после приземления превышали физиологическую норму. У обоих космонавтов отмечалось некоторое снижение концентрации креатинина крови, которое, однако, все еще превышало нормальные величины, а также некоторое понижение экскреции креатинина с мочой на первые сутки после приземления с последующим возвращением до исходных величин.

Исследования параметров углеводного обмена выявили повышение концентрации глюкозы, значительно превышающее нормальные показатели у Н. Н. Рукавишникова, а также повышение уровня молочной кислоты в крови, превышающее норму у обоих космонавтов, особенно выраженное у Н. Н. Рукавишникова; следует подчеркнуть, что эти изменения отмечались при исследованиях в день завершения полета.

Что же касается ферментативной активности, то у обоих космонавтов отмечалось значительное повышение (за пределы нормы) активности фракции изоферментов ЛДГ₃, значительное повышение активности креатинфосфокиназы и аспартатаминотрансферазы (за пределы нормы) и значительное повышение активности аланинаминотрансферазы. Наиболее вы-



Таблица 48. **Показатели обмена веществ у космонавтов, совершивших 7-суточный полет**

| Показатель | Период исследования, сутки | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | до | после полета | | | до | после полета | | |
| | 37 | 0 | 1 | 3 | 36 | 0 | 1 | 3 |
| | А. В. Филипченко | | | | Н. Н. Рукавишников | | | |
| **Мочевина крови, мг%** | 44,0 | 38,0 | — | — | 48,0 | 64,0 | — | — |
| **Мочевая кислота мочи, мг/24 часа** | 1365 | — | 667 | 865 | 1585 | — | 783 | 861 |
| **Креатинин крови, мг%** | 1,6 | 1,5 | — | — | 1,9 | 1,6 | — | — |
| **Креатинин мочи, г/24** | 2,0 | — | 1,3 | 1,9 | 2,2 | — | 1,4 | 2,1 |
| **Глюкоза, мг%** | 107 | 60 | — | — | 114 | 130 | — | — |
| **Молочная кислота, мг%** | 15,0 | 18,0 | — | — | 10,0 | 20,6 | — | — |
| **ЛДГ₃, %** | 16,9 | 23,4 | — | — | 19,4 | 21,7 | — | — |
| **Креатинфосфокиназа, ед.** | 40,0 | 62,0 | — | — | 40,0 | 68,0 | — | — |
| **Аланинаминотрансфераза, ед.** | 26,0 | 38,0 | — | — | 22,0 | 34,0 | — | — |
| **Аспартатаминотрансфераза, ед.** | 38,0 | 46,0 | — | — | 36,0 | 46,0 | — | — |
| **Адреналин мочи, мкг/24 часа** | 10,92 | — | 37,8 | 30,7 | 6,44 | — | 46,4 | 37,8 |
| **Норадреналин мочи, мкг/24 часа** | 38,25 | — | 39,8 | 69,0 | 34,4 | — | 21,1 | 54,6 |
| **Дофамин мочи, мкг/24 часа** | 240,0 | — | 423,0 | 303,0 | 232,0 | — | 147,0 | 75,9 |
| **11-ОКС крови, мкг%** | 11,2 | 33,4 | — | — | 16,6 | 28,0 | — | — |
| **17-ОКС** | | | | | | | | |
| суммарные, мг/24 часа | 6,09 | — | 9,48 | 6,73 | 6,59 | — | 7,26 | 5,87 |
| связанные с глюкуроновой кислотой, % | 79 | — | 75 | 93 | 71 | — | 77 | 72 |
| связанные с серной кислотой, % | 17 | — | 21 | 2 | 20 | — | 15 | 17 |

раженные изменения и в этом случае отмечались при исследовании функции надпочечников. Экскреция адреналина, норадреналина с мочой значительно возрастала (за пределы нормы) при одновременном значительном снижении экскреции дофамина, причем указанные изменения отмечались у обоих космонавтов. У обоих космонавтов резко повышалась (за пределы нормы) концентрация 11-ОКС в крови наряду со значительным повышением (в пределах нормы) экскреции 11-ОКС с мочой. В то же время наблюдалось некоторое повышение выделения с мочой суммарных 17-ОКС на первые сутки после приземления с последующим возвратом этого показателя до предполетных величин на третьи сутки после приземления. Процент выделенных с мочой фракций 17-ОКС, связанных с минеральными кислотами, значительно понижался (ниже нормы) наряду со значительным повышением процента выделенных 17-ОКС, связанных с глюкуроновой кислотой, причем эта картина отмечалась у А. В. Филипченко на третьи сутки после приземления.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что 7-суточный космический полет сопровождается некоторой не имеющей существенного значения перестройкой процессов белкового, углеводного и энзимного метаболизма, а также некоторым состоянием

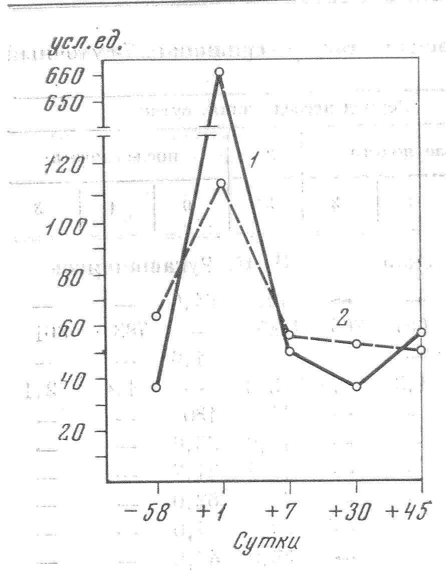



**Рис. 72. Активность креатинфосфокиназы в крови у членов экипажа орбитальной станции «Салют-4»**

*1* — А. А. Губарев; *2* — Г. М. Гречко

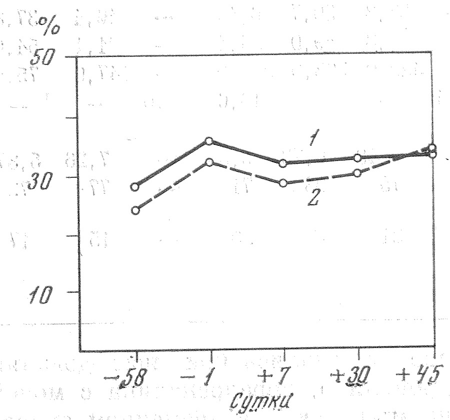



**Рис. 73. Активность изофермента ЛДГ$_1$ в крови у членов экипажа орбитальной станции «Салют-4»**

*1*, *2* — то же, что на рис. 72

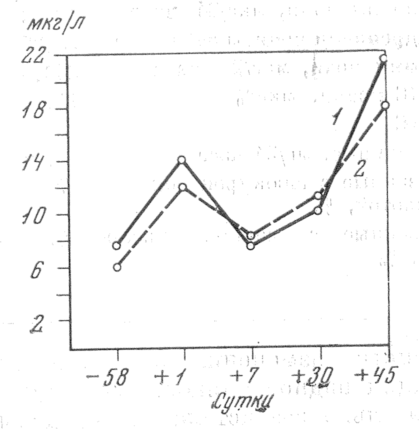



**Рис. 74. Концентрация адреналина в крови у членов экипажа орбитальной станции «Салют-4»**

*1*, *2* — то же, что на рис. 72

напряжения функции напочечниковых желез. Интересно отметить четкую корреляцию между увеличенным содержанием 11-ОКС в крови, повышением активности фракции ЛДГ$_3$ и активности аланин- и аспартатаминотрансфераз после завершения полета, что может свидетельствовать об активации глюкокортикоидной функции коры надпочечников и активном вовлечении этих гормонов в процессы трансаминирования аминокислот.

**«Салют-4».** Сравнение результатов пред- и послеполетного обследования членов экипажа комплекса транспортный корабль «Союз-17» — орбитальная станция «Салют-4» А. А. Губарева и Г. М. Гречко показало наличие изменений по большинству из исследованных параметров.

К наиболее важным и привлекающим внимание, на наш взгляд, изменениям относятся следующие.

Через сутки после завершения полета у обоих космонавтов отмечалось значительное повышение активности креатинфосфокиназы (рис. 72), у Г. М. Гречко в два раза по сравнению с дополетным уровнем, а у А. А. Губарева резкое повышение активности фермента (в 20 раз



по сравнению с дополетным уровнем); при этом активность креатинфосфокиназы у обоих космонавтов значительно превышала верхние границы нормы. На седьмые сутки после полета отмечалась тенденция в сторону нормализации активности фермента у обоих космонавтов, на 30-е сутки после полета у А. А. Губарева происходила нормализация активности фермента, в то время как у Г. М. Гречко она все еще несколько превышала нормальные величины. На 45-е сутки после полета активность фермента у обоих космонавтов возвращалась к дополетному уровню. В то же время через сутки после полета у обоих космонавтов значительно возрастала (на 25—30% по сравнению с дополетным уровнем) активность фракции изоферментов ЛДГ$_1$ (сердечная фракция по Британской номенклатуре), превышая при этом верхние границы нормы (рис. 73). На седьмые и 30-е сутки после завершения полета у Г. М. Гречко показатели активности ЛДГ$_1$ возвращались к нормальному уровню, в то время как у А. А. Губарева они все еще превышали нормальные величины; на 45-е сутки после полета показатели активности ЛДГ$_1$ у обоих космонавтов превышали нормальные величины. У обоих космонавтов через сутки после полета (рис. 74) отмечалось резкое повышение концентрации адреналина (в 2 раза по сравнению с предполетным уровнем и превышающее норму) и норадреналина (в 5—6 раз по сравнению с предполетным уровнем и заметно превышающее норму) в крови (рис. 75), через семь суток после полета уровень концентрации адреналина в крови возвращался к дополетным величинам, в то время как уровень концентрации норадреналина крови все еще значительно превышал верхние границы нормы, а на 30-е и 45-е сутки после полета указанные величины возвращались к дополетному уровню.

Сопоставление этих данных свидетельствует о наличии изменений в миокарде по типу гипоксии; в пользу справедливости положения о наличии пониженного использования кислорода миокардом говорят данные о выраженном повышении секреции и экскреции адреналина и норадреналина.

Однако такое резкое повышение активности креатинфосфокиназы у обоих космонавтов может свидетельствовать также о наличии атрофических изменений со стороны скелетной мускулатуры. Наличие атрофических изменений в скелетной мускулатуре подтверждается: а) значительным повышением экскреции креатинина с мочой за пределы нормальных величин у обоих космонавтов после завершения полета, особенно выраженным у А. А. Губарева и заметно превышающем верхние границы нормы; б) повышением экскреции креатина с мочой за пределы нормальных величин у обоих космонавтов после завершения полета; в) повышением экскреции неорганического фосфора с мочой у обоих космонавтов за пределы нормы после завершения полета и г) повышением экскреции креатинина и креатина с мочой за пределы нормальных величин у Г. М. Гречко на четвертые и особенно на 27-е сутки космического полета. Эти данные, свидетельствующие в пользу наличия атрофических изменений в скелетных мышцах, хорошо коррелируют с данными о наличии уменьшения периметров бедра у обоих космонавтов.

Интерес представляет также отмеченное у обоих космонавтов выраженное повышение активности ферментов аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы (рис. 76), значительно превышающее нор-

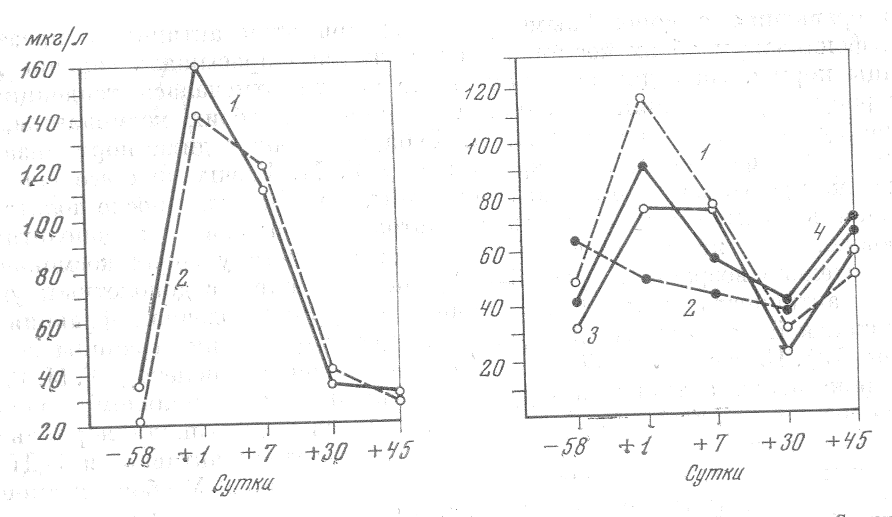



**Рис. 75. Концентрация норадреналина в крови у членов экипажа орбитальной станции «Салют-4»**

*1, 2* — то же, что на рис. 72

**Рис. 76. Активность аспартат-(*1, 2*) и аланинаминотрансферазы (*3, 4*) в крови у членов экипажа орбитальной станции «Салют-4»**

*1, 3* — А. А. Губарев; *2, 4* — Г. М. Гречко

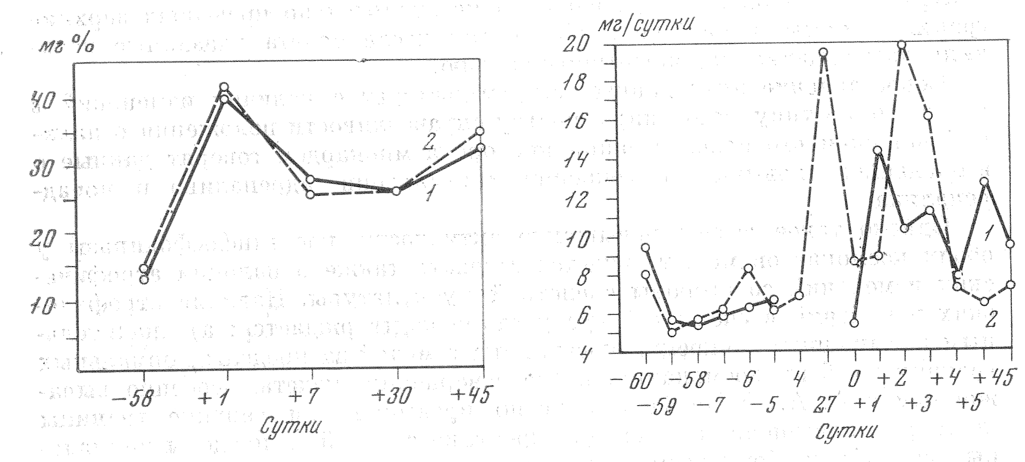



**Рис. 77. Содержание молочной кислоты в крови у членов экипажа орбитальной станции «Салют-4**

*1* — А. А. Губарев; *2* — Г. М. Гречко

**Рис. 78. Экскреция суммарных 17-оксикортикостероидов с мочой у членов экипажа орбитальной станции «Салют-4»**

*1, 2* — то же, что на рис. 77

мальные величины, через сутки и семь суток после завершения полета, с возвращением к нормальному уровню на 30-е сутки после полета. На наш взгляд, эти изменения связаны с тем, что космонавты последние 10 дней полета и первые семь дней после полета принимали анаболиче-



ский стероид нерабол; в пользу этого предположения свидетельствуют также и данные по определению уровня содержания свободных аминокислот крови, показавшие в те же сроки значительное понижение уровня содержания свободных аминокислот в крови, а особенно аланиновой и аспарагиновой, а также серосодержащих аминокислот.

Значительный интерес представляет отмеченное у обоих космонавтов (далеко за пределы нормальных величин) повышение концентрации молочной кислоты в крови через сутки после завершения полета; через семь суток и даже 30 суток после завершения полета уровень концентрации лактата в крови, хотя и отмечалась тенденция в сторону нормализации этого показателя, все еще заметно превышал нормальные величины (рис. 77). В те же сроки обследования наблюдалось также и значительное (также за пределы нормы) повышение концентрации пировиноградной кислоты крови у обоих космонавтов; нормализация этого показателя происходила на 30-е сутки после полета только у А. А. Губарева.

Полученные нами данные говорят также и о наличии выраженного состояния напряжения функции коры надпочечников. Об этом свидетельствует повышение концентрации гормонов и катехоламинов в крови наряду со значительным повышением их экскреции с мочой в послеполетном периоде. Следует также отметить наличие активации глюкокортикоидной функции коры надпочечников в процессе самого полета, что подтверждается заметным повышением экскреции с мочой 11-ОКС, резкое увеличение экскреции суммарных 17-ОКС (рис. 78) на 27-е сутки полета у Г. М. Гречко, причем указанные показатели значительно превышали нормальные величины.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что 30-суточный полет сопровождается значительной перестройкой процессов белкового, углеводного и энзимного метаболизма, а также выраженным повышением функции коры надпочечников.

## СЕКРЕЦИЯ АЛЬДОСТЕРОНА И ОБЪЕМ ВНЕКЛЕТОЧНОЙ ЖИДКОСТИ У ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ ПОСЛЕ ПОЛЕТОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

Как отмечено многими исследователями, наиболее значительные изменения в условиях космического полета обнаружены в системе регуляции водно-солевого обмена. У всех космонавтов после выполнения полетов различной продолжительности в разной степени отмечается выраженная дегидратация и потеря солей, что обусловливает задержку воды и солей после приземления (Lutwak et al., 1969, Григорьев и др., 1970; Berry, 1970; Балаховский и др., 1971). Существует мнение, что всю потерю веса космонавтами после кратковременных полетов можно объяснить только явлениями дегидратации. Это положение аргументируется тем, что потери были незначительными и в течение 5—6 дней вес восстанавливался (Балаховский и др., 1973; Пак и др., 1973; Graveline et al., 1962; Vogt et al., 1965).

Одним из ключевых звеньев в расшифровке механизма водно-солевых изменений является исследование минералкортикоидной функции надпочечников. Увеличение секреции альдостерона, самого активного из мине-

ралкортикоидов, вызывает задержку и усиленную реабсорбцию натрия и вместе с ним воды, что приводит к увеличению объема внеклеточной жидкости. В условиях невесомости, приводящей к значительному перераспределению объемов водных секторов в организме, роль альдостеронового звена в регуляции водно-солевого обмена возрастает. Наряду с этим очень важно иметь прямые сведения об обмене внеклеточного пространства, так как это позволяет судить о роли внеклеточной дегидратации в общем снижении веса космонавта.

В данной работе представлены материалы, характеризующие две стороны регуляции водно-солевого обмена — данные об экскреции альдостерона с мочой и данные об изменении объема внеклеточной жидкости в организме космонавтов после полетов различной продолжительности.

Обследовались экипажи космических кораблей «Союз-12, 13, 14, 15, 16, 17». Материалы для исследования (кровь и моча по фракциям) были собраны во время клинико-физиологического обследования космонавтов за 1—2 месяца до полета и в первые несколько суток после завершения полета. Для определения объема внеклеточной жидкости обследуемый получал 10 мл 5%-ного раствора бромистого натрия (из расчета 6 мг сухого препарата на 1 кг веса тела) за 8—9 час. до взятия крови из вены. На анализ брали 0,5 мл плазмы; концентрацию брома определяли по реакции с феноловым красным (Киселев и др., 1975). Суточную мочу у космонавтов собирали по фракциям, часть которых объединяли в суточную пробу, консервировали 30%-ной уксусной кислотой и хранили в холодильнике. Содержание альдостерона и его кислотолабильных соединений в моче определяли при помощи наборов реактивов для радиоиммунного метода («Aldok» фирмы SORJN). Мочу предварительно подвергали кислотному гидролизу в течение 48 час., затем экстрагировали дихлорметаном. Экстракт отмывали и выпаривали досуха. Сухой остаток растворяли в спирте с добавлением трис-буфера. Для работы по прописи, приложенной к набору реактивов «Aldok», брали 0,02 мл полученного раствора пробы.

При предполетном обследовании у всех космонавтов объем внеклеточной жидкости находился в пределах нормальных физиологических величин с некоторым повышением лишь у В. Г. Лазарева и А. А. Губарева, нормальная величина для аналогичного по возрасту контингента здоровых мужчин (n-22) составляет (M±b) 17,0±2,5 л (Киселев и др., 1975).

При кратковременных полетах («Союз-12», «Союз-13» и «Союз-15») в первые сутки после приземления у космонавтов отмечалось снижение объема внеклеточной жидкости в среднем на 1,8 л (колебание от —0,4 до — 4,2 л). В группе длительных полетов («Союз-14«, «Союз-17») в первые сутки после приземления эта же величина составляла 0,6 л (колебание от +0,1 до —1,5 л). Несмотря на значительные индивидуальные колебания, можно отметить, что потеря объема внеклеточной жидкости космонавтами после длительных полетов значительно ниже, чем после кратковременных. По-видимому, это объясняется тем, что потеря жидкости организмом наблюдается в первые дни полета, в то время как к концу длительных полетов объем внеклеточной жидкости имеет тенденцию восстанавливаться до исходных величин.

Определение суточной экскреции альдостерона в различные периоды обследования космонавтов показало, что все величины, за исключением



двух (А. В. Филипченко и Н. Н. Рукавишников — 0,9 и 1,1 мкг/сутки) колеблются в диапазоне 2,4—16,0 мкг/сутки, что вполне соответствует общепринятым нормам секреции этого гормона — около 10 мкг/сутки (Челнокова и др., 1971).

Во время предполетных обследований результаты, полученные в течение нескольких последовательных дней, оказываются более близкими между собой, чем результаты, полученные в отдельные контрольные дни других месяцев.

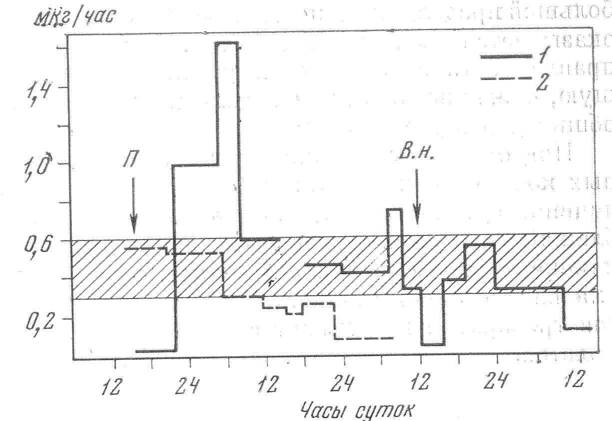



**Рис. 79. Экскреция альдостерона в ближайшие сутки после приземления (П) у космонавтов О. Г. Макарова (1) и А. В. Филипченко (2)**

Заштрихован диапазон нормальных величин; В. н. — водная нагрузка у О. Г. Макарова

Величины экскреции гормона в моче первого периода сбора (с момента приземления до утра) у пяти космонавтов из шести примерно равны суточным величинам контрольного периода.

У половины всех обследованных космонавтов первые и вторые сутки после приземления характеризуются 1,5—2-кратным увеличением альдостероновой экскреции по сравнению с дополетными величинами, у остальных увеличение менее заметно. Интересно отметить, что наиболее значительное, примерно 2-кратное, увеличение альдостероновой экскреции обнаруживается после самого кратковременного из рассматриваемых полетов у космонавтов В. Г. Лазарева и О. Г. Макарова. Аналогичная реакция выявляется также у А. В. Филипченко после 6-суточного полета. На рис. 79 приведены данные по часовой экскреции альдостерона у О. Г. Макарова и А. В. Филипченко, иллюстрирующие максимальное увеличение в первые часы после приземления и быструю нормализацию в течение ближайших суток. После 16- и 30-суточных полетов резких изменений суточных величин альдостероновой экскреции обнаружить не удалось.

Приведенные данные хорошо согласуются с результатами, полученными ранее при обследовании советских космонавтов и американских астронавтов, выполнявших полеты различной продолжительности и испытателей, участвовавших в наземных модельных экспериментах (Длусская и др., 1973).

Во всех экспериментах истинная невесомость или длительная частичная ее имитация, перераспределяя объем жидкости в организме, включают компенсаторные механизмы, в том числе и альдостероновую систе-

му, направленные на задержку воды и солей. Так, в докладе Берри на 4-м Международном симпозиуме «Человек в Космосе», в Ереване, в 1971 г., приведены данные, что у астронавтов после полета на корабле «Аполлон-14» произошло резкое и значительное уменьшение внутриклеточной жидкости при незначительном снижении внеклеточного объема (Берри, 1971). Более ярко выраженный эффект экскреции альдостерона в кратковременных полетах обусловлен, видимо, тем, что он является результатом включения пусковых механизмов адаптации, без достижения полной перестройки всех систем на новый режим работы. После полетов большой продолжительности эффект со стороны альдостероновой системы оказывается разнонаправленным. Интересно при этом отметить однонаправленность этой реакции у членов одного экипажа, свидетельствующую, очевидно, о большой роли каких-то конкретных факторов полета, общих для одного экипажа.

Подводя итоги, можно отметить, что после завершения кратковременных космических полетов у космонавтов наблюдается 1,5—2-кратные увеличения суточной и часовой экскреции альдостерона на протяжении двух ближайших суток. После выполнения длительных полетов значительных изменений в экскреции альдостерона не обнаруживается. Снижение объема внеклеточной жидкости у космонавтов после кратковременных полетов троекратно превышает снижение этого показателя после длительных полетов.

## ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ОБМЕННО-ЭНДОКРИННЫХ СДВИГОВ В НЕВЕСОМОСТИ

Уже накоплен достаточный фактический материал о состоянии обменных процессов во время космического полета, чтобы можно было перейти от описания результатов отдельных наблюдений к некоторым обобщениям и попыткам нарисовать общую картину хотя бы для тех полетов, которые проходили в сходных условиях. Это оказывается не всегда просто, так как полеты отличались не только по длительности, но и по другим условиям.

По этим же причинам наши данные не всегда совпадают и не полностью сопоставимы с результатами, полученными американскими исследователями при выполнении программы «Аполлон» (Berry, 1971). Хотя в среднем длительность полетов была такой же, как и у наших кораблей «Союз», но лишь один из трех американских астронавтов все время находился на орбите, а два других члена экипажа высаживались на Луну и часть времени пребывали в условиях частичной весомости. Надо учитывать также различия в составе атмосферы кораблей и особенности питания.

Мы постараемся в новом свете проанализировать, как при кратковременных полетах изменялось содержание мочевины в крови, экскреция 17-ОКС и калия с мочой, а также функциональная проба с водной нагрузкой, т. е. те данные, которые с нашей точки зрения оказываются наиболее информативными для оценки эндокринно-обменного синдрома.

Часто реакции членов одного и того же экипажа были сходными, но значительно отличались от реакций членов других экипажей, выполнявших аналогичные полеты одинаковой продолжительности. В этом отношении интересный материал был получен в одновременном полете кораблей «Союз«6», «Союз-7, и «Союз-8» в октябре 1969 г. Все эти экипажи имели одинаковые рационы питания и состав атмосферы кабины, однако экскреция натрия и калия после полета была у экипажа корабля «Союз-6» заметно выше, чем у остальных двух экипажей. Аналогичные, но не всегда настолько же яркие различия были и в других случаях. К сожалению, мы пока не можем решить, какие из этих различий просто оказываются следствием случайных совпадений, а какие объясняются особенностями полетного задания.



Во время всех полетов содержание мочевины в крови несколько увеличивалось, это можно заметить как по результатам анализов проб крови, взятых во время полетов, так и в некоторых случаях в послеполетный период. Экскреция калия в первые сутки после полета менялась в достаточно значительных пределах, однако, она, как правило, была заметно ниже исходных величин, полученных при дополетном обследовании космонавтов. Результаты функциональной пробы с водной нагрузкой, выполненной после полетов, показали на фоне задержки выпитой воды увеличение экскреции натрия и 17-ОКС.

Результаты пробы с водной нагрузкой необходимо связывать с сезонной ритмикой. В осенне-зимний период, когда общие величины экскреции 17-ОКС выше, при пробах с водной нагрузкой их выведение также находится на более высоком уровне, нежели в весенне-летний период.

Попытка найти какую-либо общую причину, ответственную за описанные выше обменно-эндокринные сдвиги, неизбежно приводит к мысли о послеполетном функциональном гипокортицизме, поскольку и увеличение содержания мочевины в крови, и задержка калия в организме, и неспособность быстро выводить выпитую воду — все это симптомы недостаточности коры надпочечников, которые приводятся во многих учебниках. При недостаточности коры надпочечников реакция на выпитую воду может быть двух типов: либо вода задерживается, либо выводится вместе с солями, наступает солевой диурез. И в том, и в другом случае организм теряет способность интенсивно выводить осмотически свободную воду. Наблюдавшееся нами у многих космонавтов нередко повышенное содержание солей при проведении водной пробы после полетов, связано со вторым типом реакции. Из исследованных нами показателей прямые сведения о функциональном состоянии коры надпочечников дают только величины содержания 17-ОКС в моче. Многочисленными исследованиями установлено, что их увеличение наблюдается у летчиков, которые совершают сложные и ответственные полеты, однако обычные полеты не приводят к развитию такой неспецифической глюкокортикоидной реакции. Нет оснований считать, что космический полет менее сильно воздействует на организм космонавта, нежели испытательный полет на летчика, поэтому отсутствие неспецифической глюкокортикоидной реакции коры надпочечников надо объяснять понижением их функциональной активности.

Прямые исследования американских авторов, обнаруживших уменьшение содержания адренокортикотропного гормона (АКТГ) в сыворотке крови, надо рассматривать как подтверждение высказанной точки зрения. Ей противоречит только одно — увеличение выведения 17-ОКС при пробе с водной нагрузкой. Казалось бы, если функциональное состояние желе-

зы понижено, выведение продуктов метаболизма ее гормонов во время пробы с водной нагрузкой также должно понижаться. Однако такая трактовка нуждается еще в экспериментальном подтверждении. При проведении пробы с водной нагрузкой часовая экскреция 17-ОКС с мочой всегда увеличивается, после полета это увеличение выражено ярче, чем в дополетный период. Механизм этого увеличения неясен, то ли он вызван повышением продукции гормонов, то ли вненадпочечниковым изменением их метаболизма, то ли повышением почечной фильтрации. Поэтому делать какие-либо определенные выводы, опираясь на этот частный показатель, представляется преждевременным.

Высказанные предположения о возможном послеполетном гипокортицизме не надо понимать слишком узко. Прежде всего надо ограничиться определенными временны́ми рамками и помнить, что речь идет об относительно кратковременных (до 18 суток) полетах. Разумеется при изменении сроков полетов картина может оказаться совсем иной. Трудно представить себе одиночное поражение или изменение функционального состояния какой-либо эндокринной железы. Видимо, речь идет о достаточно сложной перестройке всего аппарата внутренней секреции, в которой обнаруженные уже сейчас сдвиги занимают центральное место, но не исчерпывают всей совокупности сдвигов. Нет также сомнения, что перестройка носит исключительно функциональный характер, иначе бы послеполетные сдвиги не проходили бы так быстро.

Каков же может быть механизм понижения функции коры надпочечников во время полета и после его окончания? Ответ на этот вопрос надо искать уже не в особенностях обменных процессов, а в анализе общего состояния регуляции физиологических функций во время космического полета и после его окончания. Тут, на наш взгляд, может быть два подхода, один из которых, однако, не исключает другой. Первый основан на тех глубоких гормональных сдвигах, которые развиваются в организме человека каждый раз, когда он переходит из горизонтального положения в вертикальное. При этом изменяется содержание альдостерона, ренина, вазопрессина (см. обзор: Балаховский и др. 1973). В условиях невесомости человек не знает в каком положении он находится — лежа или стоя, система статокинетического анализатора дает некоординированные, несоответствующие друг другу сигналы, в результате которых нормальное функционирование всех систем, в том числе и регулирующих эндокринную компоненту ортостатической реакции, оказывается невозможным. Каким-то, непонятным еще для нас путем, это приводит к возникновению сложного синдрома, внешним проявлением которого является описанный выше функциональный гипокортицизм.

Другая возможность объяснения особенностей обмена веществ в условиях космического полета основана на попытке понять общие патогенетические механизмы изменения всех физиологических процессов в условиях невесомости. Здесь опять таки возможны два пути — нервный и гуморальный. Нервный основывается на той точке зрения, что отсутствие раздражителя также есть раздражитель, вестибулярный аппарат, как и остальные звенья статокинетического анализатора, в условиях невесомости не посылает в ЦНС импульсов, сигнализирующих о положении тела в пространстве, это вызывает настоящую «нервную бурю». Ее внешним проявлением оказываются много раз отмеченные космонавтами чувство прилива крови к голове, тошнота, рвота, понижение физической работоспособности и т. д. Эта же «буря» приводит к угнетению секреции АКТГ со всеми вытекающими отсюда обменными сдвигами.



Возможно также, что первопричина лежит и в нарушениях гемодинамики — в невесомости происходит перераспределение массы крови и кровяного давления. Физиологи уделяют много внимания проблеме перераспределения крови в условиях невесомости, но различиями в величинах кровяного давления, возникающими вследствии веса столба крови, почему-то занимались гораздо меньше. Тем не менее нет сомнения, что эффективная циркуляция крови через орган и доставка питательных веществ к клеткам возможна только, если поддерживается достаточная величина разности между артериальным и венозным давлением, с учетом тех компонент, которые вызваны существованием или наоборот исчезновением в условиях невесомости веса крови. В невесомости обычно депонированная в нижележащих тканях кровь оттекает оттуда, переполняя сосуды внутренних органов, в том числе головного мозга. Это приводит к застойному нарушению гемодинамики нервных центров, регулирующих секрецию тропных гормонов гипофиза, отсюда вытекает замедление образования АКТГ и функциональный гипокортицизм.

Между этими возможными объяснениями нет принципиальной разницы и они не исключают друг друга. Человек — один из немногих видов живых существ, для которых физиологичен переход из горизонтального в вертикальное положение. Он сопряжен со сложной перерегулировкой гемодинамики и функциональной эндокринной системы. Эта перегруппировка необходима в первую очередь для того, чтобы обеспечить адекватное кровоснабжение сосудов головного мозга. Сигналом служат не только безусловные рефлексы от различных образований статокинетического анализатора, но и условные компоненты, поскольку человек знает, что ему предстоит изменить положение тела в пространстве. При некоторых патологических состояниях, например, при той же недостаточности коры надпочечников, люди теряют способность адекватно перестраивать гемодинамику при изменении положения тела, развивается так называемый ортостатический коллапс. В условиях невесомости эти филогенетически и онтогенетически хорошо отработанные связи оказываются нарушенными, больше нет адекватного кровоснабжения мозговых центров, этого вполне достаточно, чтобы объяснить многие наступающие расстройства.

# Глава 12. ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты клинико-физиологических обследований, полученные у советских космонавтов и американских астронавтов, а также модельные и космические эксперименты с животными выявили изменения ряда гематологических, биохимических, гисто-морфологических и других показателей, указывающих на определенные функциональные сдвиги, наступающие в результате действия факторов космического полета (Галкин и др., 1958; Касьян и др., 1962; Волынкин и др., 1962, 1964, 1965; Петрухин, 1962, 1966; NASA, 1962; Berry, 1963, 1969, 1970; Газенко и др., 1967; Парин и др., 1968; Jenkins, 1968; Миронова, 1974).

Гематологические изменения наступали со стороны как красной, так и белой крови и характеризовались уменьшением содержания гемоглобина, снижением числа эритроцитов, ретикулоцитов и тромбоцитов в 1 мм$^3$, увеличением гематокрита, ускорением РОЭ, нейтрофильным лейкоцитозом, эозинофилопенией. Обнаружены усиление экскреции гормонов и нарушения обменных процессов. Это указывает на то, что кровь несет более раннюю информацию, и свидетельствует о возможности наступления аналогичных сдвигов или нарушениях в других органах и тканях, что позволяет интегрально оценить состояние здоровья космонавтов, характер и степень воздействия факторов космического полета на организм, оценить эффективность проводимых профилактических мероприятий и определить сроки полной реадаптации к земным условиям (Коржуев, 1963; Балаховский, Наточин, 1973; и др.).

Основу настоящего исследования составили материалы гематологического обследования 29 советских космонавтов, совершивших 20 космических полетов по программе кораблей «Союз». Было выполнено два длительных полета (до 18—24 суток) с участием пяти космонавтов — членов экипажа космического корабля «Союз-9» и долговременной орбитальной станции (ДОС) «Салют-1». Космонавты к моменту выполнения космического полета были не моложе 26 и не старше 47 лет. Это период самой плодотворной творческой деятельности человека (Егоров и др., 1967).

Для изучения состава периферической крови и состояния гемопоэтических органов у космонавтов во время отбора, профессиональной подготовки и ее совершенствования, а также непосредственно перед полетом в космос, во время космического полета и в период реадаптации нами проведено более 38 000 гематологических исследований, включающих изучение белой и красной крови по 23 параметрам.

Результаты, полученные у обследуемых космонавтов, мы сравнивали с показателями, опубликованными в научной литературе и руководствах по лабораторным исследованиям в качестве норм. При этом мы ориенти-



ровались на показатели, полученные аналогичными методиками у здоровых людей соответствующей возрастной группы. Одновременно учитывали суточные, географические, сезонные и другие физиологические колебания (Кассирский, Алексеев, 1955; Предтеченский, 1960; Евхаритский, 1961; Ярустовская, 1969; Реутова, 1969; Калуженко с соавт., 1969; и др.).

Для определения содержания гемоглобина в периферической крови использовали метод Дервиз и Воробьева (1959) в модификации Бобковой и Введенского (1966). Число эритроцитов, лейкоцитов в 1 мкл крови и кривую Прайса-Джонса определяли при помощи целлоскопов 101 и 302 (Ab Lars Ljungberg, 1964; Тодоров, 1963). Окраску мазков крови и определение лейкоцитарного профиля производили по методу Романовского (1891), Гимза (Giemsa, 1934) и Шиллинга (Schilling, 1912, 1959). Для подсчета числа ретикулоцитов и ретикулоцитограммы применяли методы Гейльмейера (Heilmeyer, 1938) или Сабразе (1948) в модификации В. И. Легенькова (1974). Определение осмотической резистентности эритроцитов, времени свертывания крови и продолжительности кровотечения, определение РОЭ производили обычными методами, описанными в руководствах Предтеченского (1950, 1960), Й. Тодорова (1963) и др. Абсолютное число эозинофилов подсчитывали по методу Дунгера (Dunger, 1910, 1942) в модификации И. С. Пиралишвили (1962), а для подсчета абсолютного количества базофилов использовали методы Мура и Джеймса (Moore, James, 1953) и Браунштейнера и Тумба (Braunsteiner, Thumb, 1958).

Для подсчета числа тромбоцитов в 1 мм$^3$ крови мы использовали целлоскопический метод, предложенный Ойле (Oulie, 1959) и Фоссе (Foss, 1960), в модификации Ф. С. Адонкина (1963) и В. И. Легенькова (1974), а также камерный метод И. И. Данилина (1955, 1967) и метод подсчета тромбоцитов в мазках крови по Фонио (Fonio, 1912).

Кислотную резистентность определяли по методу Хема (Ham, 1939) в модификации В. И. Легенькова (1974).

Для получения хороших мазков крови на полиэтиленовой ленте АМАКа в космическом полете мы использовали метод Т. А. Орловой (1970) и И. С. Балаховского, Ю. В. Наточина (1973) в модификациях В. И. Легенькова (1974).

Для более полного и правильного анализа результатов гематологических исследований в работе использованы также исследовательские данные физиологического, клинического, биохимического, гисто-морфологического и другого характера, полученные нами или при нашем участии.

Таким образом, в работе представлен обобщенный и статистически обработанный, с использованием формул и методов малых выборок Фишера-Стъюдента, материал всех гематологических исследований космонавтов, выполнявших космические полеты в СССР к началу 1974 г. На долю космических кораблей «Союз» приходится 53% полученного материала. Однако направленность сдвигов была во всех полетах одинакова, а выраженность зависела от длительности космического полета. Все это позволило рассматривать полученные результаты совместно, разделив их на кратковременные и длительные полеты, независимо от типа космического корабля.

## ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ КОСМОНАВТОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

Большой интерес представляли изменения гематологических показателей, связанные с систематическими занятиями космонавтов физической подготовкой с проведением различных испытаний и тренировок (в сурдокамере, в термокамере, парашютная подготовка, вращения на центрифуге и др.) в процессе профессиональной подготовки и ее совершенствования.

Повышение устойчивости организма к воздействиям различных факторов космического полета постоянно осуществляются на фоне систематических занятий физической подготовкой, повышающих не только уровень общего физического состояния, но и позволяющих выработать необходимые качества сенсорномоторных координаций, улучшить функциональные возможности отдельных систем и организма в целом. Общие средства и методы занятий заимствованы из спортивной медицины, а некоторые были специально разработаны в зависимости от целей и задач космического полета, что позволяло выработать пластичность, ловкость, четкость и умение владеть своим телом в земных условиях и безопорном положении.

Одной из характерных особенностей гемограмм космонавтов, систематически занимающихся физической подготовкой, является увеличение содержания гемоглобина, числа эритроцитов, а также моноцитов, эозинофилов и особенно лимфоцитов. Увеличение числа лимфоцитов в периферической крови может считаться показателем прогрессирующей тренированности космонавтов (рис. 80).

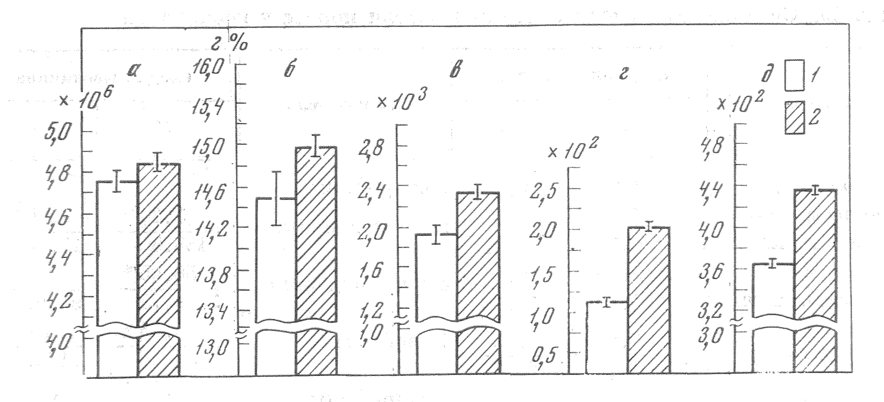
Полученные при сурдоиспытаниях данные позволяют отметить, что 10-суточная изоляция космонавтов не вызывает патологических нарушений в системе крови и в организме в целом.

Парашютные прыжки из самолета и тренировки на наземных тренажерах (катапультирование) – наиболее мощное комплексное средство совершенствования специфических психофизиологических механизмов регуляции. После выполнения парашютных тренировок отмечается небольшое увеличение нейтрофильных лейкоцитов ($P<0{,}01$), незначительное снижение числа лимфоцитов ($P<0{,}01$) и эритроцитов ($P<0{,}02$), что связано с перераспределительным характером крови и стрессовыми реакциями.

Ознакомительно-испытательные исследования в теплокамере вызывают небольшое сгущение крови (увеличение содержания гемоглобина, гематокрита) и потерю веса тела. Отрицательного воздействия на здоровье космонавта они не оказывают.

Полученные через сутки после воздействия перегрузок (до 10 g, время вращения 2 мин.) гематологические данные не свидетельствовали о каких-либо изменениях в количественном и качественном составе периферической крови. При изучении ретикулоцитограммы через 30—45 дней после вращения выявлены сдвиги лишь в количественном отношении отдельных видов (рис. 81). Левый сдвиг наблюдался в основном за счет увеличения числа полносетчатых (до 12,0±0,57%, через месяц 34,75±1,89%; $P<0{,}001$) и снижения пылевидных форм (до 54,5±1,45%, через месяц 27,625±1,98%; $P<0{,}001$), а общее количество ретикулоцитов почти не изменилось.





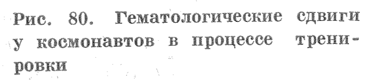



**Рис. 80. Гематологические сдвиги у космонавтов в процессе тренировки**

*а* — эритроциты;
*б* — гемоглобин;
*в* — лимфоциты;
*г* — эозинофилы;
*д* — моноциты;
*1* — до;
*2* — после тренировки

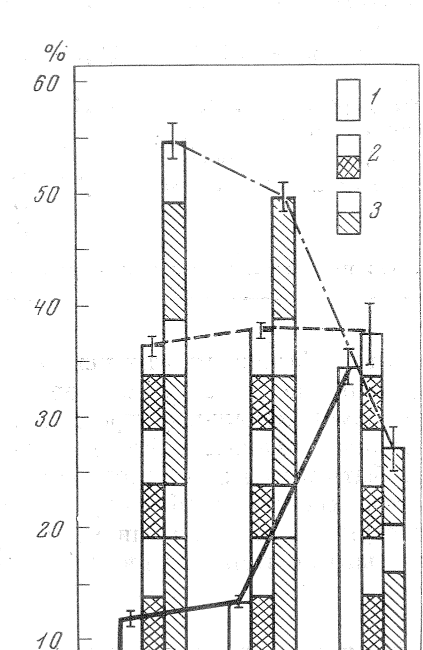



**Рис. 81. Изменения в ретикулоцитограмме через 30—45 суток после воздействия перегрузок величиной 8—10 g**

*1* — полносетчатые;
*2* — неполносетчатые;
*3* — пылевидные ретикулоциты

Появление в периферической крови более молодых форм ретикулоцитов свидетельствует о том, что перегрузки до 10 g оставляют некоторые деструктивные изменения в костном мозге, подобно тем, которые обнаруживались у животных при воздействии на них перегрузок и вибрации (Гайдамакин и др., 1966; Давыдов и др., 1964), что усиливает процессы регенерации и отражается в ретикулоцитограмме.

Таким образом, оценивая результаты гематологических исследований космонавтов, полученные вне острых воздействий, можно отметить, что отрицательного влияния на гемопоэз профессиональная подготовка не оказывает.

Таблица 49. **Средние гематологические показатели нормы у космонавта**

| Показатель | Средняя величина | | Показатель | Средняя величина | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *M* | *m* | | *M* | *m* |
| Гемоглобин, г% | 14,80 | 0,26 | Нейтрофилы | | |
| Эритроциты, млн/мкл | 4,880 | 0,08 | палочкоядерные | 3,20 * / 188,80 | 0,27 * / 15,93 |
| Цветной показатель | 0,92 | 0,017 | | | |
| РОЭ, мм/час | 5,30 | 0,60 | сегментоядерные | 56,05 * / 3509,75 | 1,59 * / 95,67 |
| Тромбоциты, тыс/мкл | 254,60 | 10,28 | | | |
| Ретикулоциты | 0,60 * / 29280,00 | 0,017 * / 82,96 | Базофилы | 0,75 * / 44,27 | 0,19 * / 11,32 |
| Средний диаметр эритроцитов, мк | 7,5 | 0,07 | Эозинофилы | 2,40 * / 141,60 | 0,33 * / 46,73 |
| Свертываемость крови, сек. | 544,00 | 39,77 | Лимфоциты | 31,30 * / 1847,60 | 1,49 * / 87,95 |
| Продолжительность кровотечения, сек. | 130,00 | 13,48 | Моноциты | 6,30 * / 371,80 | 0,39 * / 23,42 |
| Гематокрит, % | 43,40 | 1,24 | Абсолютное количество, мкл | | |
| Лейкоциты, тыс/мкл | 5,903 | 0,38 | эозинофилов | 159,00 | 17,70 |
| | | | базофилов | 28,00 | 26,00 |

* Числитель — в процентах, знаменатель—в микролитрах.

Острые воздействия многих испытаний и тренировок вызывают неглубокие преходящие реакции со стороны крови и используются одновременно как функциональные пробы для выявления скрытой патологии.

Выведенные в нашей работе групповые показатели покоя у космонавтов могут быть взяты за основу гематологических показателей у летно-космического состава (табл. 49). Однако для правильного понимания генеза наступающих в организме изменений необходимо пользоваться индивидуальными гематологическими нормами каждого космонавта.

## ИЗМЕНЕНЕНИЯ СОСТАВА ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ

### В предстартовом периоде

Изучая изменения состава периферической крови членов экипажей космических кораблей по показателям предполетного обследования и результатам воздействия космической среды, необходимо отметить, что уже в предполетном периоде на организм, адаптированный к нормальным наземным условиям, начинают оказывать действие повышенные рабочие (физические и эмоциональные) нагрузки, связанные с имитацией отдельных факторов полета (комплексная тренировка, тренировки к экспериментальным исследованиям в космосе, ускорения на центрифуге, медицинские обследования, перелет к месту запуска и др.). В предстартовый



период космонавт непосредственно работает в космическом корабле, физически и морально готовится к реальному полету.

Все это создает повышенный нервно-эмоциональный фон, особенно сказывавшийся на космонавтах, совершавших свой первый полет в космос. Он, очевидно, начинает проявляться в конце предполетной подготовки, а более четко выражен в предстартовый период и характеризуется сдвигами в количестве лейкоцитов в 1 мм$^3$ крови (увеличение с 6,269±0,15 до 7,923±0,42 тыс/мм$^3$, $P<0{,}002$; снижение с 6,500±0,84 до 4,399±±0,42 тыс/мм$^3$, $P=0{,}05$), повышением экскреции 17-кетостероидов с мочой с 12,7±1,13 до 18,5±0,68 мг за сутки ($P<0{,}001$), адреналина с 3,9±1,6 до 16,25±4,75 мкг за сутки ($P>0{,}02$) и тенденцией повышенного выделения норадреналина (с 42,5±7,48 до 61,35±16,14 мкг за сутки, $P>0{,}1$). Относительное и абсолютное число эозинофилов уменьшалось с 2,4±0,33 до 1,4±0,31% ($P<0{,}01$) и с 159,0±1,77 до 88,0±2,1 в 1 мм$^3$ ($P<0{,}001$) соответственно.

Следует отметить, что более выраженное колебание числа лейкоцитов в предстартовый период происходило за счет тенденции к увеличению количества нейтрофилов с 3,524±0,068 до 4,488±0,82 тыс/мм$^3$ ($P=0{,}25$) у 13 космонавтов (мужчины) из 25, совершивших кратковременный полет. В четырех случаях отмечена лейкопения по нейтропеническому типу (предполетное обследование 3,747±0,17 тыс/мм$^3$, предстартовое — 2,718±0,36 тыс/мм$^3$), и у восьми космонавтов количество лейкоцитов и нейтрофилов почти не изменилось по отношению к первым фоновым показателям (за 90—60 дней до полета).

Таким образом, повышение нервно-эмоционального фона, наблюдаемое во время предстартовой подготовки, вызывает небольшое увеличение числа нейтрофильных лейкоцитов в 1 мм$^3$ крови, эозинофилопению и повышенную экскрецию гормонов.

### В условиях кратковременных космических полетов

Исследования комбинированного воздействия факторов космического полета на систему крови являются особенно перспективными. У космонавта в условиях невесомости создается специфическая психоэмоциональная обстановка, а также относительно снижается его физическая активность, уменьшается физическая нагрузка, имеются своеобразные особенности режима труда и отдыха, питания и приема жидкости. В ходе полета постепенно возрастает содержание кислорода в атмосфере кабины корабля. Новая среда обитания и указанные выше основные стрессовые факторы вызывают изменения в системе крови, в гормональном обмене, в водном и электролитном балансе и др.

В кратковременных полетах гематологические исследования в космосе не проводили. Однако при биохимических исследованиях мочи, полученной при полете экипажа корабля «Союз-9» и экипажа корабля «Джемини-7» (Berry, Catterson, 1967; Балаховский, Наточин, 1973), установлены некоторые сдвиги, наступающие у космонавтов во время полета. Так, наиболее низкий уровень экскреции 17-оксикортикостероидов был обнаружен у экипажей «Джемини-7» и «Союз-9». Снижение показателей катехоламинового обмена (с 0,81±0,06 до 0,33±0,05 мкг/г норадреналина) в модельных условиях 120-суточной гипокинезии заслуживает внимания, если

учесть, что сдвиги гормонального и медиаторного обмена изменяют регуляторную функцию симпатической нервной системы, а ее участие в адаптационных реакциях организма связано с выделением норадреналина (Крупина и др., 1971).

В настоящее время лучше изучено состояние организма, связанное с последействием невесомости и других факторов космического полета, при возвращении космонавта в земные условия. Как при переходе от условий земного притяжения к невесомости, так и при возвращении к ним, за время, в течение которого совершаются подобные изменения в действии силы тяжести и возникающие при этом ускорения и перегрузки, функции организма не успевают перестроиться, а стрессовое состояние и значительное перераспределение кровяного давления, массы крови и сдвиги в кроветворной системе оказывают интегральное влияние на человека. Естественно, что такой резкий контраст создает в организме далеко не оптимальные условия для проявления его компенсаторных механизмов.

Полученные после космических полетов советских космонавтов гематологические данные свидетельствуют о наличии зависимости между длительностью космического эксперимента и количеством и качеством изменений в крови.

Полет длительностью 108 мин. почти не вызвал у Ю. А. Гагарина каких-либо сдвигов в системе крови, а в кратковременных и особенно в длительных полетах они уже отчетливо проявились.

Сравнение изменений, развивающихся в организме животных и космонавтов, полученных в послеполетном периоде, обнаруживает их однонаправленный и однотипный характер. Общим является то, что сдвиги наступают как в красной, так и в белой крови. Различия касаются величины сдвигов, зависящих от индивидуальных особенностей и компенсаторных возможностей организма, и темпов восстановления.

После кратковременных космических полетов у космонавтов наиболее отчетливыми были такие изменения: увеличение содержания гемоглобина, количества эритроцитов, ретикулоцитов и лейкоцитов в 1 мм$^3$, изменение величины показателя гематокрита, ускорение свертываемости крови и продолжительности кровотечения, что, по-видимому, зависит от сгущения крови за счет относительного уменьшения объема плазмы. Последнее можно рассматривать как один из механизмов адаптации в ответ на относительную гиперволемию, развивающуюся в условиях невесомости и ведущую к дегидратации. По мере восстановления объема жидкости в организме в течение первых трех суток после окончания полета концентрация форменных элементов крови нормализуется и у космонавтов отчетливо обнаруживается (полеты до 3 суток) тенденция к снижению содержания гемоглобина (до полета 14,87±0,24 г%, первые часы после приземления 15,5±0,42 г%, P>0,05, и снижение к 15 суткам до 14,8±0,28 г%, P<0,25), снижение числа эритроцитов (до 4,956±0,06 млн/мм$^3$, после приземления 4,87±0,73 млн/мм$^3$, на 15 сутки 4,78±0,11 млн/мм$^3$), числа ретикулоцитов (до 0,63±0,03%, первые сутки 0,52±0,09%, P>0,2, и на 15 сутки 0,75±0,04%). Свертываемость крови (до 598±19,44 сек., после 350±±36,05 сек., P<0,01), продолжительность кровотечения (до 98±11,66, после 58,3±1,66 сек., P<0,05), величина гематокрита (до 42,2±0,95%, после 45,0±0,73%, P<0,05) нормализуются через 24—72 часа. Такая же направленность изменений красной крови наблюдалась и при полетах длительностью от 4 до 8 суток в том случае, если исследование производилось в ближайшие часы после приземления. Однако если гематологическое обследование производилось позднее (в конце первых суток и позже), то, как правило, констатировалось нивелирование показателей. Мы наблюдали почти одинаковую величину снижения числа ретикулоцитов после полета у всех космонавтов на протяжении 2 недель, а спустя 15 суток отмечалась тенденция к увеличению числа ретикулоцитов (с 0,52±0,09 и 0,62±±0,63% до 0,75±0,04 и 0,82±0,10%). Сопоставление полученных данных показало, что увеличение концентрации крови «маскирует» наступившие изменения в красной крови, вызванные космическим полетом, и только после восполнения потерянной жидкости в кровяном русле мы наблюдаем количественное уменьшение гемоглобина, эритроцитов, ретикулоцитов. Полное восстановление гематологических изменений происходит более чем через месяц (от 30 до 45—60 суток).



Сгущение крови, очевидно, не следует считать следствием первичного изменения функции кроветворения. Сгущение крови само по себе, вероятно, является причиной, снижающей образование эритроцитов. Пониженная физическая активность в невесомости, связанное с этим снижение потребности тканей в кислороде, известная степень гипероксии атмосферы кабины КК содействуют угнетению эритропоэза и синтеза гемоглобина. Этому также способствуют развивающиеся в условиях невесомости снижение гормональной активности, отрицательный белковый, азотистый, водный и калиевый балансы, указывающие на ослабление метаболических процессов, что ведет к потере общего белка и белка, связанного с миоглобином, и является следствием недостаточной деятельности скелетно-мышечных клеток. Снижение веса тела (в среднем на 2,31±1,29 — 2,5±±1,63 кг) обусловлено дегидратацией на 60% и катаболическими процессами на 40% (Легеньков, 1974).

Результаты послеполетных исследований белой крови показали достоверное (P<0,05 и P<0,01) увеличение числа лейкоцитов (до полета 6,118±0,38 и 6,6±0,45 тыс/мм$^3$, после полета 9,13±1,23 и 10,5±±2,58 тыс/мм$^3$) в основном за счет выброса из костного мозга резервов нейтрофилов (P<0,01) и в меньшей степени за счет моноцитов и лимфоцитов под действием стрессовых факторов (рис. 82) [1]. Они мало зависят от сгущения крови, что подтверждается снижением количества эозинофилов в 1мм$^3$ крови (до полета 88,0±2,1 тыс/мм$^3$, после полета 54,6±±9,01 тыс/мм$^3$, P<0,01 при полетах до 3 суток, а при полетах до 4—8 суток 182±23,4 тыс/мм$^3$ и 135±8,05 тыс/мм$^3$ соответственно с P>0,05), а больше связаны с гормональными сдвигами. Величина экскреции гормонов в этот период была повышенной и характеризовалась увеличением количества 17-оксикортикостероидов с 4,81±0,39 до 6,6±0,8 мг за сутки (P=0,05), 17-кетостероидов с 15,4±1,55 до 24,2±1,4 мг/сутки через одни сутки после полета и до 24,2±4 мг/сутки через двое суток с P<0,01 при полетах длительностью 1—3 суток, а после полетов длительностью 4—8 суток выделение 17-кетостероидов было более значительным (до полета 13,69±1,09, после полета 33,17±0,5 мг/сутки, P<0,01). Отчетливо выражен подъем экскреции норадреналина с 42,5±7,48 до 91,0±6,0 мкг/сутки (P<0,05), а в выделении адреналина происходила тенденция в сторону содержания более вы-

[1] Здесь и далее на рисунках приводятся динамические показатели, отражающие изменения при кратковременных и длительных полетах.

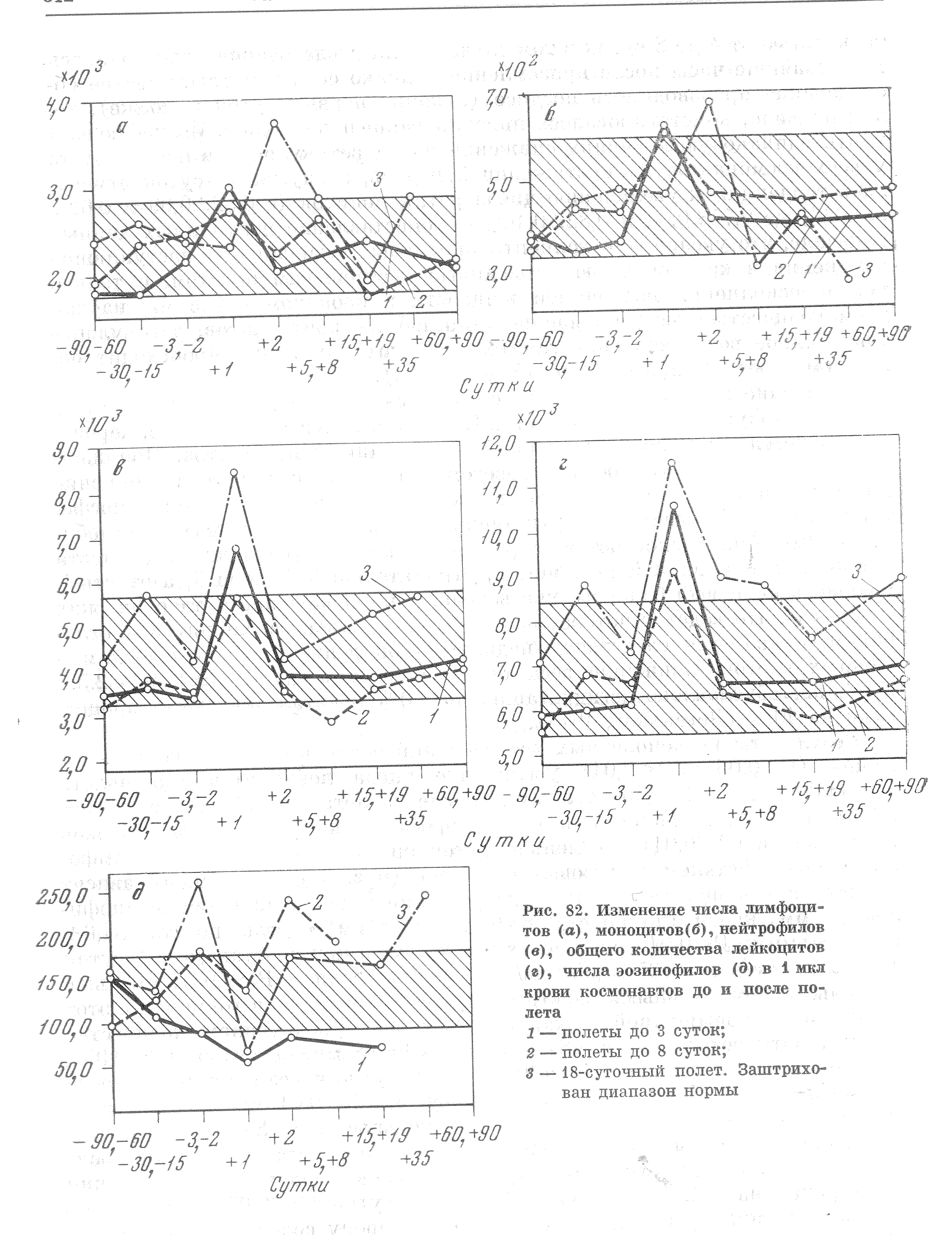



Рис. 82. Изменение числа лимфоцитов (*а*), моноцитов (*б*), нейтрофилов (*в*), общего количества лейкоцитов (*г*), числа эозинофилов (*д*) в 1 мкл крови космонавтов до и после полета

*1* — полеты до 3 суток;
*2* — полеты до 8 суток;
*3* — 18-суточный полет. Заштрихован диапазон нормы



соких величин гормона в суточной моче (до полета 3,9, после полета 12,56 мкг/сутки, $P>0,9$).

Зависимость наступивших в составе периферической крови изменений от повторности выполнения космонавтом космического полета и связь их с выходом в открытый космос нами не установлена. Однако при равных условиях воздействия факторов космического полета на организм человека реакция со стороны кроветворной системы женского организма была более выраженной, но направленность их была одинаковой.

В исследованиях американских специалистов отмечено, что у астронавтов США в послеполетном периоде наблюдались нейтрофильный лейкоцитоз, эозинофилопения и лимфоцитопения, связанные, как они считают, со стрессовыми факторами. Отмечено увеличение среднего диаметра эритроцитов, снижение содержания гемоглобина, увеличение количества эритроцитов в 1 мм³ сразу после полета с последующим их снижением. Обнаружено сокращение продолжительности жизни эритроцитов, уменьшение эритроцитарной массы и объема циркулирующей крови, что вызвано гипогидратацией и гипероксией кабины космического летающего аппарата и отсутствием азота-разбавителя в атмосфере корабля. Выявленные изменения могли частично произойти и от имеющейся относительной гипокинезии астронавтов в полете и ряда других причин: пониженная физическая нагрузка, питание, обитание и т. п. (Lamb, 1964; Berry, Catterson, 1967; Kaplan, 1967; Carlson, 1967; Vinograd, 1967; Dietlein, 1969a, b; Johnson, Fischer, 1970; Jonson, 1972; и др.). Американские специалисты считают, что длительность полета сказывается на показателях кроветворной системы и что изменения в организме начинаются с первых минут полета и носят адаптационный характер.

Таким образом, данные наших исследований и результаты, полученные американскими специалистами после кратковременных полетов в космос, совпадают. Они указывают на то, что после космического полета под воздействием стрессовых факторов происходят некоторые изменения в составе белой крови (лейкоцитоз нейтрофильный, эозинофилопения). Отмечена повышенная экскреция гормонов с мочой. Развивающееся состояние дегидратации организма в полете вызывает сгущение крови. Отсюда обнаруживается повышенное содержание гемоглобина, числа эритроцитов и величины гематокрита, а спустя несколько часов, после восполнения «недостающей» жидкости в организме, отмечается снижение гемоглобина, количества эритроцитов и ретикулоцитов в 1 мм³ крови. Нормализуются показатели гематокрита, свертываемости крови и продолжительности кровотечения. Отмечена тенденция увеличения ретикулоцитов на 15 сутки после полета. Подобное состояние красной крови можно считать результатом подавления эритропоэза и синтеза гемоглобина. Отмечены изменения в обменных процессах. Восстановление длится более месяца.

## В условиях длительных космических полетов

Анализ гематологических данных после длительных космических полетов показывает, что в крови у космонавтов наблюдаются изменения тех же показателей, которые были отмечены при кратковременных полетах. Вызваны они одними и теми же причинами, но более четко и ярко выражены.

В результате проведенных исследований было отмечено, что под влиянием космического полета в первые часы после приземления наблюдается умеренный нейтрофильный лейкоцитоз с 7,863±0,45 до 11,61±±0,78 тыс/мм³ (P<0,001), нормализовавшийся к 19 суткам после полета (см. рис. 82, *в*, *г*).

Параллельно с этим в крови наблюдалась эозинофилопения (до 228,0±10,3, после полета 62,5±0,0 в 1 мм³, P<0,001) у космонавтов «Союз-9» (см. рис. 82, *д*). В литературе отмечено, что обнаруженное увеличение продукции эозинофилов в костном мозгу и скопление их в некоторых органах при гипероксии, очевидно, есть проявление защитной адаптационной реакции, способствующей разрушению перекисных соединений (Kelsall, 1958; Елисеев, 1961; Ефуни и др., 1969; Миронова, 1974). Они образуются при интоксикациях, связанных с гипероксией, а в послеполетном периоде, очевидно, при остаточных явлениях аутоинтоксикации, вызванной произошедшими атрофическими, дистрофическими и некробиотическими процессами в тканях и органах.

Эти процессы вели к уменьшению веса тела. В среднем потери в весе составили 3,35±0,65 кг. Частичное уменьшение веса произошло за счет дегидратации организма и быстро восстановилось за первые трое суток, в среднем на 47,15% (1,55 кг). Остальная потеря веса тела вызвана, видимо, распадом тканей. В условиях невесомости отсутствие веса приводит к снижению тонического напряжения мускулатуры, т. е. исключается даже изометрическое напряжение мышц. В связи с этим происходит атрофия мышц, что ведет к усилению катаболических процессов, как и при экспериментальной гипокинезии. Прогрессирующая атрофия мышц ведет к изменениям в интермедиарном обмене (Смирнов, 1972).

Проведенные исследования у космонавтов корабля «Союз-9» после 18-суточного полета свидетельствовали об усилении катаболических процессов и сопровождались повышенным выделением с мочой (в г за сутки):

| | До полета | В полете | После полета |
|---|---|---|---|
| **Общий азот** | 14,75±1,05 | 17,05±2,05 | 16,25±0,65 |
| **Фосфор** | 0,95±0,11 | 1,35±0,8 | 1,07±0,07 |
| **Сера** | 3,2±0,4 | 5,2±0,2 | 3,95±0,65—4,7±0,7 |
| **Кальций** | 0,23±0,4 | 0,36±0,05 | 0,33±0,03 |

Это указывало на прогрессирующие нарушения в обмене веществ, усиление протеолиза мышечной ткани и снижение процессов окислительного фосфорилирования, потребления кислорода (Dietlein, 1964; Аллик, Карпова, 1967) на фоне изменений ферментативной активности и сниженного гормонального обмена (до полета 17-ОКС было 4,85±1,05 мг/сутки, во время полета 1,82±0,7 мг/сутки; P>0,05), обусловленных действием невесомости и, по-видимому, наступившими в рефлекторном механизме сдвигами. Они связаны с уменьшением функциональной нагрузки на двигательный аппарат и снижением потока импульсов с работающих органов и тканей. В данном случае мы имели дело с гипофункцией вследствие неупотребления, резкого снижения стимулов к деятельности (Федоров, 1971).

Изменения показателей периферической крови отражают нарушения, развивающиеся в кроветворных органах, и тесно связаны с происходя-



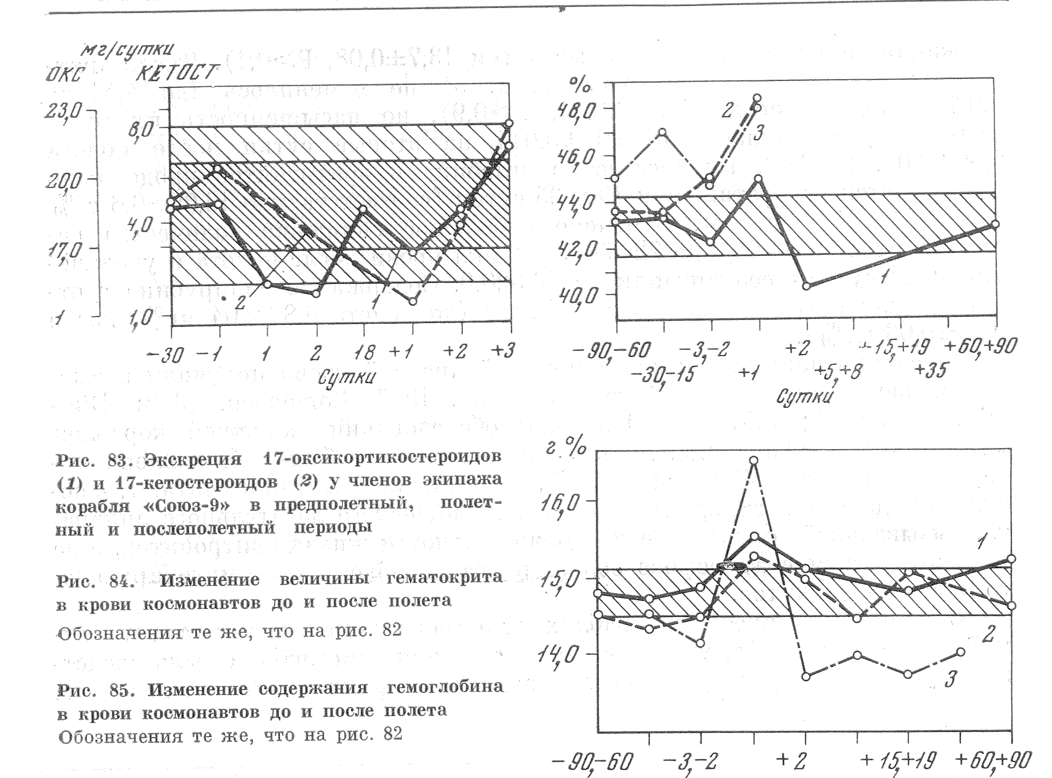



**Рис. 83. Экскреция 17-оксикортикостероидов (*1*) и 17-кетостероидов (*2*) у членов экипажа корабля «Союз-9» в предполетный, полетный и послеполетный периоды**

**Рис. 84. Изменение величины гематокрита в крови космонавтов до и после полета**
Обозначения те же, что на рис. 82

**Рис. 85. Изменение содержания гемоглобина в крови космонавтов до и после полета**
Обозначения те же, что на рис. 82

щими изменениями в гомопоэзе, регуляторных процессах и в гормональном обмене.

Полученные во время 18-суточного полета экипажа корабля «Союз-9» данные о выведении с мочой 17-ОКС свидетельствовали о снижении экскреции гормона в полете, а в предстартовый период, перед посадкой корабля и в период реадаптации наблюдалась тенденция к увеличению выделения 17-ОКС и 17-кетостероидов с мочой (17-ОКС до 4,7±1,9, перед стартом 4,85±1,05, перед посадкой 4,47±0,67, первые сутки после полета 3,5±0,2, на третьи сутки 7,3±2,3 мг/24 часа; 17-кетостероиды до 18,82±±3,52, перед стартом 20,3±0,2, первые сутки после полета 14,45±1,15, на третьи сутки 22,15±3,35 мг/24 часа). Можно предполагать, что эти этапы сопровождаются нервно-эмоциональным напряжением, что в свою очередь отражается на морфологическом составе крови. Величина коэффициента корреляции между ними равна 0,946±0,16, что указывает на наличие связи (рис. 83).

Увеличение количества гемоглобина в крови в первые часы после приземления с 14,39±1,44 до 16,4±1,3 г% (P>0,3) отражает состояние сгущения крови, развивающееся за счет дегидратации в условиях невесомости, что подтверждается повышенной (рис. 84) величиной гематокрита (до 45,0±1,13%, после 48,4±0,45%, P<0,05). Наступающее быстрое восстановление концентрации крови (объем принятой жидкости на 57% задерживался в организме) после полета выявило снижение (рис. 85) со-

держания гемоглобина (на вторые сутки 13,7±0,08, P>0,1). Число эритроцитов в 1 мм³ крови (рис. 86, *а*, *б*) не изменилось (до 4,516±±0,78 млн/мм³, после 4,570±0,11, P>0,9), но насыщенность их гемоглобином уменьшилась (до 0,97±0,014, на вторые сутки после полета 0,89±0,02, P<0,02. Количество гемоглобина и эритроцитов продолжало уменьшается на протяжении 19 и 35 суток (соответственно 13,98±0,6 г%, и 4,425±0,21 млн/мм³). Отмечено небольшое снижение количества ретикулоцитов с 30 708,8 до 22 850,0 в 1 мкл крови после полета и увеличение к 19 суткам реадаптации до 40 320,0. Содержание билирубина соответствовало исходным фоновым данным (до полета 0,8±0,04 мг%, после 0,73±0,03 мг%).

Подобную направленность изменений красной крови получили и американские специалисты (Berry, Catterson, 1967; Lomonaco, 1969; Dietlein, 1969 a, b; Johnson, 1972) при обследовании экипажей кораблей «Джемини» и «Аполлон», но в их исследованиях была установлена потеря эритроцитарной массы до 20%, наступившая, как они считают, в результате действия гипероксии кабины космического летательного аппарата, вызывающей сокращение продолжительности жизни эритроцитов, и за счет отсутствия в атмосфере большинства кораблей азота, ингибирующего лизис эритроцитов.

В наших космических кораблях атмосфера почти соответствует земной. Поэтому если бы уменьшение содержания гемоглобина было следствием усиленного распада эритроцитов, то во время полета возросло бы

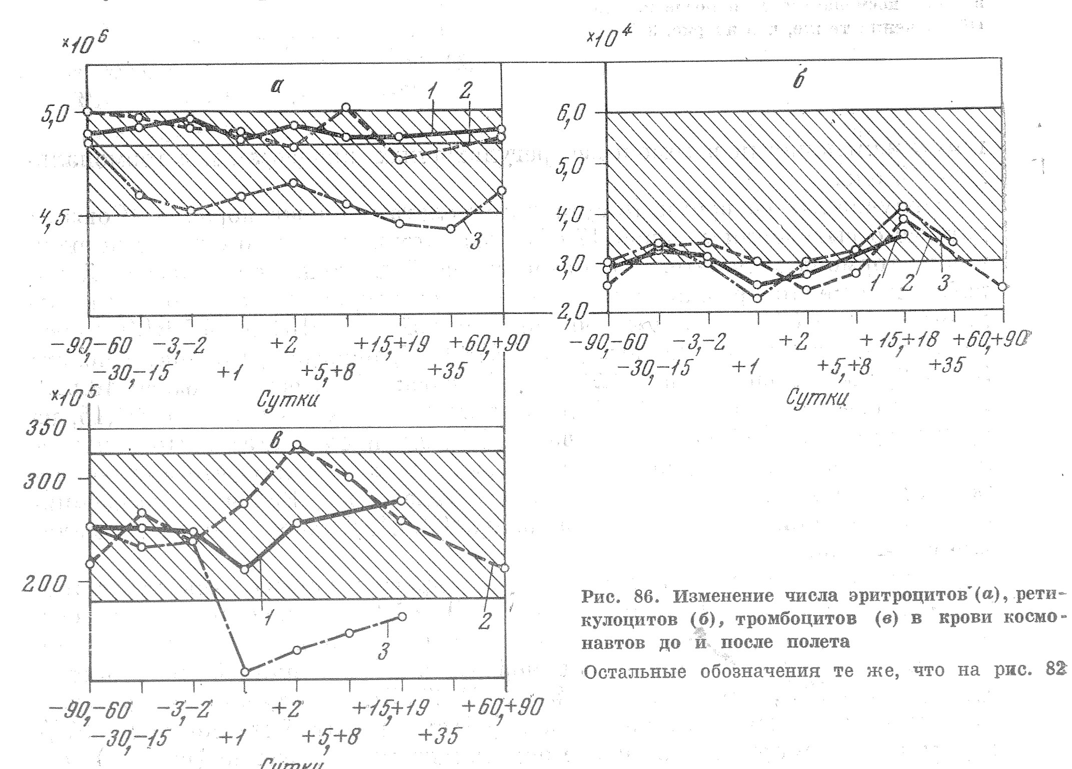



Рис. 86. Изменение числа эритроцитов (*а*), ретикулоцитов (*б*), тромбоцитов (*в*) в крови космонавтов до и после полета

Остальные обозначения те же, что на рис. 82



содержание билирубина и количества ретикулоцитов в ответ на гемолиз, вызывающий усиленную регенерацию крови. Однако число ретикулоцитов возросло только во время реадаптации на 5—8 сутки и максимальное увеличение их количества в крови было отмечено почти через три недели после окончания полета, а содержание билирубина не изменилось. Отсюда можно считать непосредственной причиной незначительной анемии замедление скорости эритропоэза и нарушение синтеза гемоглобина. Это дополнительно подтверждается приведенными данными, указывающими на некоторую катаболическую направленность обмена веществ (Легеньков, 1974).

Имеются сведения, что при обследовании американских астронавтов, выполнявших программу «Аполлон» (Fischer et al., 1972), было обнаружено умеренное снижение в глобулиновой фракции белка крови содержания трансферрина и скорости обмена железа у членов экипижа орбитальной станции «Скайлэб» (Johnson, 1973).

Для рассмотрения состояния белкового обмена могут быть использованы приведенные выше данные об изменении массы эритроцитов и объема белков плазмы во время полета американских астронавтов. Поскольку известно, что продолжительность жизни эритроцитов составляет около 100—120 дней, за каждый день обновляется примерно $^1/_{100}$ всего находящегося в организме гемоглобина, весь этот белок синтезируется заново из аминокислот. Белки плазмы обновляются еще быстрее, поэтому уменьшение их количества может служить косвенным признаком замедления синтеза белка (Балаховский, Наточин, 1973). Упомянутые в работе модельные опыты И. В. Федорова и И. Ф. Шуровой (1973) показали, что у животных, находившихся различные сроки в условиях ограниченной подвижности, нарушается синтез белка в скелетных мышцах, в миокарде и других органах. Для условий космического полета человека это имеет решающее значение (невесомость, нарушение гемодинамики, катаболизм, экстремальные факторы, изменения крови).

Более значительное и продолжительное (более месяца) снижение количества тромбоцитов (см. рис. 86, *в*) у экипажа корабля «Союз-9» с 267,0 до 111,0 тыс/мм³, увеличение продолжительности кровотечения в течение трех недель (до 60,0 сек., после 127,5, через 19 дней 165,0 сек.) и тенденция к замедлению свертываемости крови (до 585,0 сек., после 642,5 сек.) после полета, возможно, вызваны угнетением тромбоцитопоэза, а также связаны с адаптационными изменениями, направленными на нивелирование нарастающих в невесомости тромбогенных свойств крови, как это было обнаружено при полетах животных (Чазов, Ананченко, 1963; Анашкин, 1968), зависящих от дегидратации организма.

Мы склонны рассматривать снижение количества тромбоцитов и эозинофилов в связи с представлением о существовании гепарино-эозинофило-тромбоцитарной ассоциации, косвенным образом характеризующей состояние функционально связанных элементов и их биохимических структур, т. е. связи кровяных и тканевых элементов с учетом выделения ими биологически активных веществ: гепарина, гистамина, серотонина и др.

Сведения об иммунобиологическом состоянии организма можно частично получить при исследованиях периферической крови космонавтов. Как после кратковременных, так и после длительных полетов у космонав-

тов отмечена наклонность (рис. 87) к ускорению РОЭ (с 2,9±0,31 до 5,0±1,34 мм/час, P>0,1 и с 6,2 до 16,5 мм/час, соответственно), увеличение числа лимфоцитов (при полетах в течение 1—8 суток с 1838,1 до 2711,61 в 1 мм$^3$, а при более длительных – с 2415 до 3692,7 в 1 мм$^3$), моноцитов (с 345,3 до 611,71 в 1 мм$^3$ и с 422,2 до 671,2 в 1 мм$^3$ соответственно), а также наблюдается лейкоцитоз. Во время космического полета возникает обратная картина, т. е. снижение числа лейкоцитов, эозинофилов (нами уже отмеченное) и моноцитов (с 381,4 до 273,0 в 1 мм$^3$ на

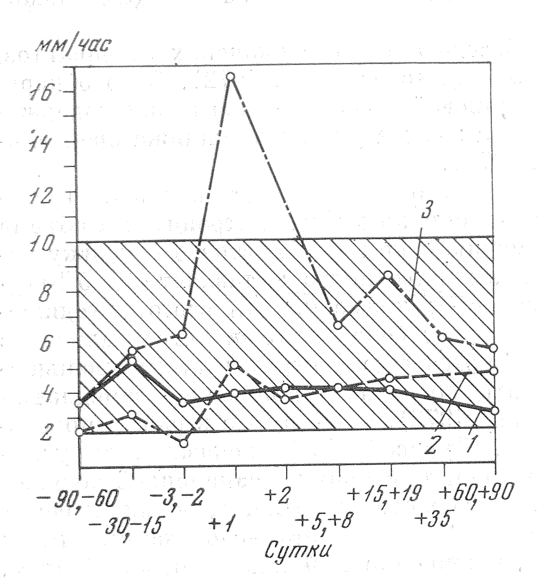



**Рис. 87. РОЭ в крови космонавтов после полетов**

Обозначения те же, что на рис. 82

15 сутки полета). Обнаруженные изменения протеинограммы за счет прироста фракции глобулинов, появление слабоположительной реакции на С-реактивный белок (Легеньков и др., 1973) — все это связано с активацией естественной иммунореактивности, появлением деструктивных процессов в организме, и, возможно, с развитием процессов аутосенсибилизации, указывающих на то, что космический полет понижает резистентность организма к различным инфекционным агентам, что тесно связано с белковым синтезом, а значит, и с системой крови, играющих ведущую роль в выработке многих защитных факторов в механизме иммунитета. Нормализация отмеченных изменений наступает через более длительное время, чем после кратковременных полетов.

Таким образом, в периферической крови космонавтов в первые часы после приземления наблюдаются нейтрофильный лейкоцитоз, эозинофилопения, связанные со стрессовым воздействием на организм активных участков полета корабля, приземления и радостных эмоций после успешного завершения полета; сгущение крови и, как следствие, увеличение количества гемоглобина, величины гематокрита, числа эритроцитов и усиления некоторых тромбогенных свойств крови.

В реадаптационном периоде установлено снижение содержания в крови гемоглобина, числа эритроцитов, ретикулоцитов с последующим развитием ретикулоцитоза, что связано с угнетением гемопоэза и нарушением синтеза белка, вызванных факторами космического полета. Кроме того, обнаружено снижение гормональной активности, обменных процессов и резистентности организма в космическом полете и их активация в послеполетном периоде.



Отмеченные изменения показателей крови отражают нарушения, развивающиеся в кроветворных органах и в организме в целом. Они, очевидно, связаны в основном с изменениями функции опорно-двигательного аппарата в космическом полете (невесомость), гипероксией, а также вызваны некоторым влиянием нервно-эмоционального компонента активных участков полета космического корабля. Отмечена зависимость гематологических изменений от длительности космического полета. Восстановление указанных изменений требует значительного времени (30—45 суток, а в некоторых случаях и больше).

Проведенные исследования свидетельствуют о необходимости глубокого изучения длительного воздействия невесомости, изыскания методов и средств анализа крови и углубленного исследования гемопоэтической системы в космическом полете, путей профилактики и лечения адаптационных и реадаптационных расстройств.

# Глава 13. РЕАКЦИЯ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

На первом этапе развития космонавтики и космической медицины усилия исследователей были сосредоточены в основном на изучении функционирования сердечно-сосудистой и нервно-мышечной систем в условиях невесомости. Но с увеличением продолжительности космических полетов возникла необходимость изучения деятельности пищеварительной системы. Проводившиеся до настоящего времени медико-биологические исследования в условиях космического полета основывались лишь на субъективной информации о состоянии системы органов пищеварения космонавтов, которая была настолько мала, что делать какие-либо заключения не представлялось возможным. В кратковременных полетах функции пищеварения у космонавтов изменялись незначительно (Касьян и др., 1968; Berry, 1967, 1970; Gauer, 1971). При совершении космических полетов по программам «Меркурий», «Джемини» у астронавтов практически не было зарегистрировано изменений со стороны желудочно-кишечного тракта (Henry et al., 1962).

Во всех космических полетах, несмотря на дегидратацию организма, у космонавтов отмечалось снижение чувства жажды, что обусловлено, видимо, уменьшением содержания ренина в крови (Gauer, 1971). Снижение аппетита наблюдалось в основном у всех американских астронавтов (Berry, 1967, 1970). Аппетит пилота-исследователя первого экипажа орбитальной станции «Скайлэб» был несколько пониженным в первые 10 дней полета. У командира сохранялся хороший аппетит во время всего полета. Существенных изменений в аппетите второго пилота не замечено, но он съедал не весь свой суточный рацион. У всех членов экипажей орбитальной станции «Скайлэб» понизилась острота вкусовых ощущений, причем некоторые виды продуктов в полете стали значительно менее приятными на вкус (Ross, Hordinsky, 1973).

Большинство космонавтов отмечали умеренное усиление скопления газов в желудке и кишечнике и чувство перемещения желудка к диафрагме. При увеличении продолжительности полетов у космонавтов появлялись запоры. Члены одного экипажа сообщали, что «расширение желудка» мешало им принимать обычное количество пищи и напитков. У членов экипажей космических кораблей «Аполлон-7—11» в предстартовый период имели место желудочно-кишечные расстройства: было отмечено два случая гастроэнтерита с этиологией сальмонеллеза и три случая с неустановленной этиологией. При совершении полетов по этой программе у астронавтов были зарегистрированы случаи тошноты и рвоты. У членов экипажей «Аполлон-8—9» наблюдались неприятные ощущения в желудке, связанные с расстройством вестибулярного аппарата.



Эти симптомы сохранялись от двух часов до пяти суток — период, по времени совпадающий с адаптацией к невесомости (Berry, 1970).

Изучение деятельности пищеварительной системы у космонавтов в настоящее время проводится на основании пред- и послеполетного клинико-физиологического обследования.

Секреторную и моторную функции желудочно-кишечного тракта изучали впервые в послеполетном обследовании членов экипажей космических кораблей «Союз». Интерес к изучению пищеварительной системы у советских исследователей возник не случайно. Известно, что пищеварительная система — одна из наиболее лабильных систем организма человека и животных. Она быстро реагирует значительными и долговременными функциональными сдвигами и структурными изменениями на воздействие эндо- и экзогенных факторов.

Фундаментальные исследования, выполненные отечественной павловской школой физиологов пищеварения, показали, что процессы секреции в желудочно-кишечном тракте зависят от следующих причин: от состояния проницаемости клеточных мембран, от эластичности выводных протоков железистого аппарата, от синтеза составных компонентов пищеварительных соков, таких, как гидролитические ферменты различных групп, соли, крупномолекулярные соединения в виде гастромукопротеидов, вода. Деятельность пищеварительно-транспортного конвейера реализует процесс всасывания и утилизации веществ. Другая сторона процесса связана с электровозбудимостью гладкой мускулатуры, которой выстланы органы желудочно-кишечного тракта, и основная функция гладких мышц состоит в своевременном перемешивании, продвижении, а также эвакуации пищи. Пищеварительная система многогранно связана с различными процессами в организме, начиная с межуточного обмена и кончая функциональным состоянием нервно-гормональных механизмов.

Учитывая вышесказанное, понятно, что пищеварительная система не может остаться безучастной к воздействию факторов космического полета. Поэтому на первом этапе исследований было необходимо установить феноменологию изменений функционального состояния органов системы пищеварения. К этому и сводилась наша основная задача.

В настоящей главе представлены материалы комплексного исследования секреторной и моторной функций желудочно-кишечного тракта после орбитальных полетов космических кораблей серии «Союз» продолжительностью от 2 до 30 суток.

Изучение функционального состояния желудка, поджелудочной железы и кишечника у космонавтов проводили беззондовыми методами, определяя содержание пищеварительных ферментов в крови, моче и фекалиях. Моторную функцию желудка исследовали методом электрогастрографии.

Применяемые методы клинико-физиологической оценки пищеварительной системы у космонавтов после полетов являются современными, в последнее время широко принятыми в ведущих клиниках и научно-исследовательских лабораториях Советского Союза, дают достаточное количество информации о функциональном состоянии желудочно-кишечного тракта.

Одна из главных функций пищеварительного аппарата — секреторная функция, осуществляемая крупными и мелкими железами. Такие компо-

11 Заказ № 716

ненты секретов, как ферменты, продуцируются не только в полость желудочно-кишечного тракта, но и во внутреннюю среду организма, что имеет определенное физиологическое значение. Изучение инкреторного (в крови) и экскреторного (в составе мочи и фекалиях) путей выделения пищеварительных ферментов широко используется для диагностики состояния органов желудочно-кишечного тракта.

Секреторную функцию желудка оценивали по содержанию желудочного профермента пепсиногена в плазме крови и моче. В плазме пепсиноген определяли по методу В. Н. Туголукова (1965), уропепсиноген — методом Г. Ф. Коротько, М. Э. Ислямовой (1963).

Выделение панкреатических ферментов изучали по количеству трипсина, амилазы и липазы в крови, амилазы и липазы в моче. Содержание трипсина и его ингибитора в крови определяли по методу Эрлангера (Erlanger et al., 1961) в модификации В. А. Шатерникова (1966). Липолитическую активность крови и мочи — методом В. А Шатерникова (1966). В составе фекалий изучали уровень кишечных ферментов — энтеропептидазы и щелочной фосфатазы, характеризующих полостное пищеварение, и глицил-l-лейциндипептидазы и инвертазы — ферментов, локализующихся на поверхности мембран энтероцитов и отражающих состояние мембранного (пристеночного) пищеварения. Содержание щелочной фосфатазы и энтеропептидазы определяли методом Г. К. Шлыгина и Л. С. Фоминой (1970), уровень собственно кишечных ферментов — инвертазы и глицил-l-лейциндипептидазы — методами, разработанными А. М. Уголевым и др. (1969).

Моторную функцию желудка у космонавтов исследовали электрогастрографическим методом, предложенным М. А. Собакиным (1948). Сущность метода заключается в регистрации биопотенциалов желудка с поверхности тела. Регистрацию осуществляли посредством электрогастрографов ЭГС-4М. Запись электрогастрограмм проводили через 30 мин. после приема завтрака в течение 30—60 мин. Электрогастрограммы оценивали по среднечасовой величине амплитуды и частоте сокращений желудка. Обработку гастрограмм проводили по методике Я. С. Циммермана (1972), позволяющей посредством построения вариационных кривых амплитуд произвести объективный анализ электрогастрограмм, установить некоторые закономерности об абсолютном значении амплитуд и характере их распределения.

## СЕКРЕТОРНАЯ ФУНКЦИЯ

Исследования секреторной функции пищеварительной системы, проведенные после полетов у членов экипажей космических кораблей «Союз-9», «Союз-12», «Союз-13», «Союз-16», «Союз-17», позволили установить некоторые закономерности функционирования пищеварительной системы в зависимости от продолжительности полета.

Двухсуточный орбитальный полет («Союз-12») существенно не влиял на выделение пищеварительных ферментов (рис. 88). Содержание желудочного профермента пепсиногена в крови на вторые сутки после полета у обоих космонавтов изменилось незначительно. При этом экскреция пепсиногена в составе мочи у В. Г. Лазарева на первые сутки снизилась



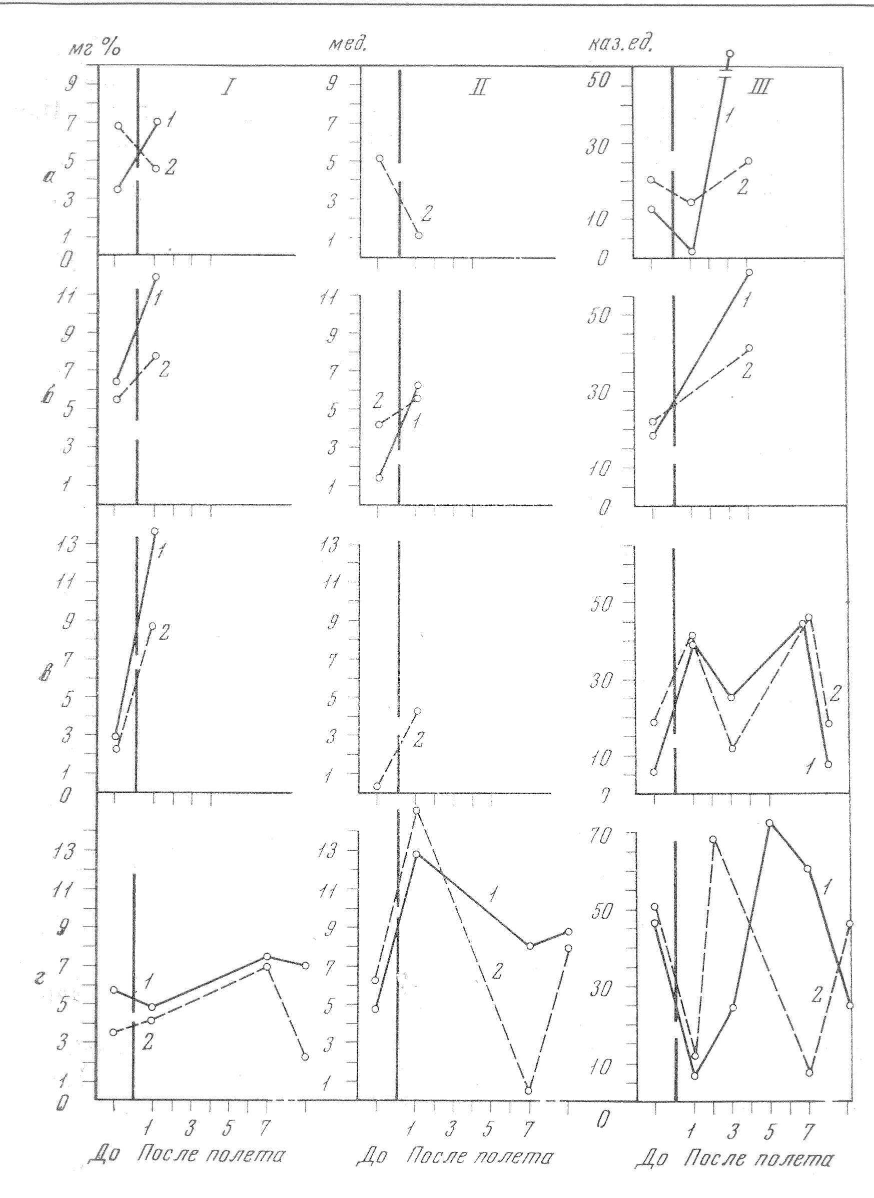



**Рис. 88. Ферментовыделительная функция желудка и поджелудочной железы космонавтов в полетах различной продолжительности**

Полет (сутки): *а* — 2; *б* — 7; *в* — 18; *г* — 30; *I* — плазмопепсиноген; *II* — трипсин в крови; *III* — уропепсиноген; *1* — командир; *2* — бортинженер

до 1,9 единицы (до полета — 4,5—13,7 единицы), на третьи сутки повысилась до 98,1 единицы. У О. Г. Макарова не было отмечено заметных сдвигов экскреции этого фермента. Со стороны протеолитического фермента поджелудочной железы — трипсина — в крови у О. Г. Макарова было отмечено некоторое снижение до 1,4 миллиединицы по сравнению с

предполетным уровнем 5,2 миллиединицы. При этом ингибирующая способность сыворотки крови по отношению к трипсину несколько возросла — до 447,7 миллиединицы (до полета — 277,2 миллиединицы). Изучение выделения углеводного фермента поджелудочной железы — амилазы — в кровь выявило у обоих космонавтов некоторое снижение: у В. Г. Лазарева до 53,4 единицы, у О. Г. Макарова до 30,0 единицы (до полета — 78,0 и 90,0 единицы соответственно). Экскреция амилазы в составе мочи у О. Г. Макарова к третьим суткам после полета несколько увеличилась до 5,7 единицы (до полета — 1,2 единицы), у В. Г. Лазарева экскреция этого фермента практически не изменилась. Исследование инкреции и экскреции липолитического фермента поджелудочной железы выявило небольшое снижение содержания липазы в крови только у О. Г. Макарова — до 8,7 миллиединицы (до полета — 17,4 миллиединицы).

Анализ кала, проведенный на первые сутки после полета, установил незначительные изменения кишечного белкового фермента глицил-l-лейциндипептидазы у В. Г. Лазарева в сторону некоторого снижения — до 31,2 мг% (до полета — 54,2 мг%). Инвертаза и щелочная фосфатаза у В. Г. Лазарева также несколько снизились. У О. Г. Макарова в этот период не отметили изменений выделения этих ферментов в составе кала (рис. 89). Таким образом, после двухсуточного орбитального полета изменения деятельности пищеварительной системы были незначительными и кратковременными. Обращает на себя внимание некоторое снижение амилазы в крови и фазность изменения уропепсиногена. Сдвиги этих наиболее лабильных ферментных систем желудочно-кишечного тракта отражают начальную реакцию пищеварительной системы, связанную, по-видимому, с эмоциональным напряжением космонавтов.

Обобщение результатов исследований пищеварительной системы у экипажей космических кораблей «Союз-13» и «Союз-16» после семи- и восьмисуточных полетов позволило установить однонаправленность полученных изменений. Сразу после полета у А. В. Филипченко и Н. Н. Рукавишникова было отмечено повышение содержания плазмопепсиногена до 7,96 и 14,66 мг% соответственно (до полета — 5,5 и 6,4 мг%), у П. И. Климука и В. В. Лебедева содержание этого фермента в крови практически не изменилось. Однако у В. В. Лебедева, Н. Н. Рукавишникова и А. В. Филипченко на четвертые сутки после полета увеличилось выделение этого фермента в моче. У В. В. Лебедева уровень этого фермента достигал 42,6 единицы, у Н. Н. Рукавишникова — 62,5 единицы (до полета — 23,3 и 19,0 единицы соответственно). Содержание трипсина в крови у всех космонавтов изменялось незначительно. Небольшое повышение инкреции этого фермента было отмечено у П. И. Климука, Н. Н. Рукавишникова и А. В. Филипченко, при этом уровень ингибитора трипсина в крови у Н. Н. Рукавишникова возрос до 618,8 миллиединицы (до полета — 325,8 миллиединицы), у А. В. Филипченко — до 554,8 миллиединицы (до полета — 345,4 миллиединицы). В амилолитической ферментной системе у П. И. Климука, В. В. Лебедева и Н. Н. Рукавишникова было отмечено увеличение содержания амилазы в крови. Наиболее значительно возросла активность амилазы в крови у В. В. Лебедева — до 181,4 единицы (до полета — 90,0 единицы) и у Н. Н. Рукавишникова — до 288,0 единицы (до полета — 108,0 единицы). При этом выделение амилазы в моче несколько снизилось. Содержание липазы в



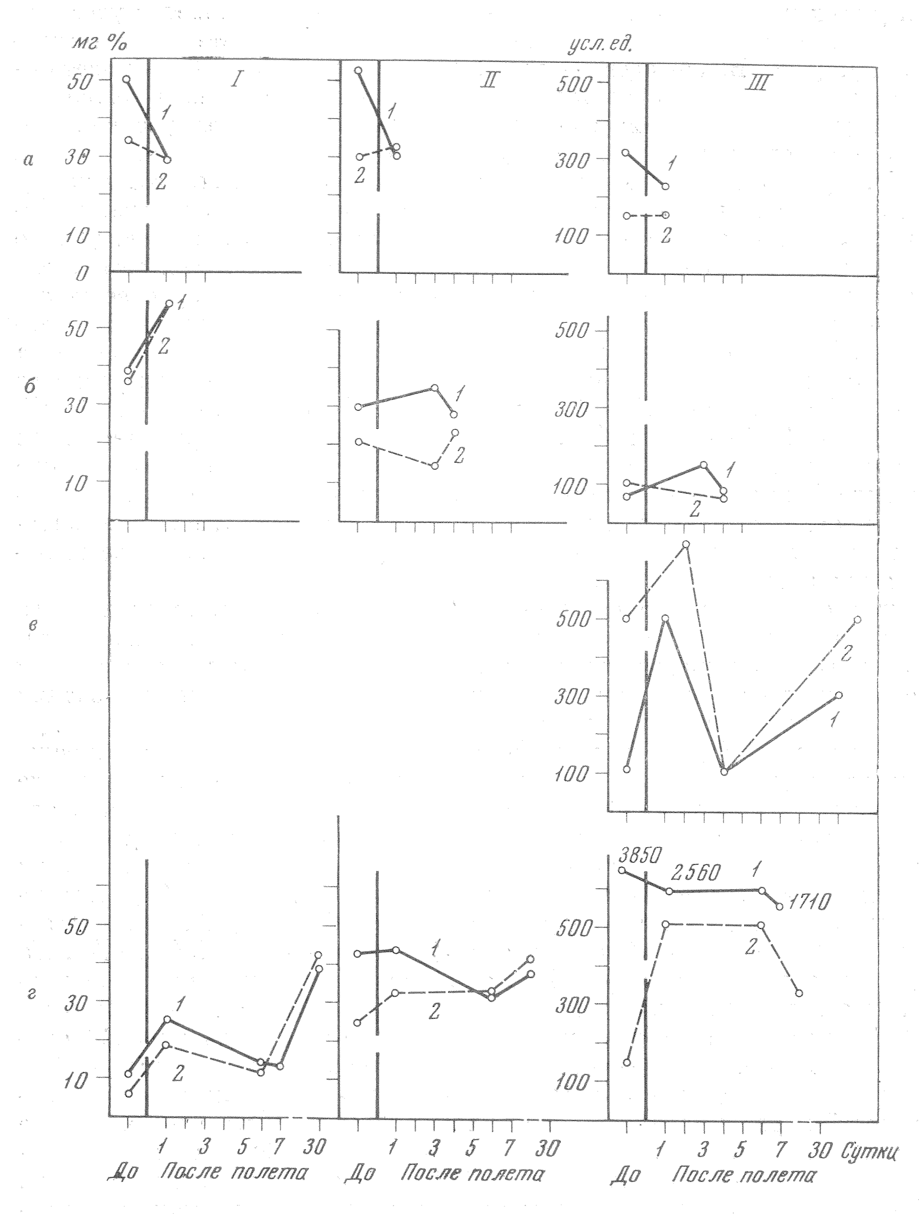



**Рис. 89. Ферментовыделительная функция тонкой кишки космонавтов в полетах различной продолжительности**

*I* — инвертаза; *II* — глицил-*l*-лейциндипептидаза; *III* — щелочная фосфатаза; *IV* — энтеропептидаза

Остальные обозначения те же, что на рис. 88

крови у всех космонавтов после семи- — восьмисуточных полетов увеличилось: у П. И. Климука до 23,0 миллиединицы (до полета — 8,3 миллиединицы), у В. В. Лебедева — до 31,0 миллиединицы (до полета — 16,6 миллиединицы). Менее значительное изменение липазы в крови наблюдали у экипажа космического корабля «Союз-16». Наряду с этим необходимо отметить тенденцию к увеличению экскреции липазы. Так, у Н. Н. Рукавишникова выделение липазы в составе мочи возросло до 16,2 миллиединицы (до полета — 8,3 миллиединицы). Исследования фекальных масс после семи- — восьмисуточных полетов выявили тенденцию к увеличению содержания как собственно кишечных ферментов, характеризующих мембранное пищеварение, так и ферментов, ответственных в большей степени за полостное пищеварение. Наиболее существенное увеличение было отмечено для инвертазы. Так, у В. В. Лебедева содержание инвертазы в кале на третьи сутки после полета возросло до 81,1 мг% (до полета — 24,3—39,1 мг%), у П. И. Климука — до 86,6 мг% (до полета — 23,1 — 39,7 мг%). Высокий уровень этого фермента в кале сохранялся и на пятые сутки после полета. В содержании белкового кишечного фермента — глицил-l-лейциндипептидазы — не отмечено каких-либо существенных изменений. Для щелочной фосфатазы и энтеропептидазы лишь намечалась тенденция к увеличению, наиболее выраженная для энтеропептидазы.

Таким образом, после семи- — восьмисуточных орбитальных полетов определена реакция пищеварительной системы, направленная на усиление выделения пищеварительных ферментов, причем уже на пятые сутки после полета по большинству показателей была отмечена нормализация секреторной деятельности пищеварительной системы.

Исследования функционального состояния органов пищеварительной системы у членов экипажа космического корабля «Союз-9» после 18-суточного полета показали более существенные изменения, чем после двух- и восьмисуточных полетов. При исследовании крови на третьи и четвертые сутки послеполетного периода была обнаружена тенденция к увеличению протеолитического комплекса ферментов. Содержание плазмопепсиногена в этот период возросло до 13,6 мг% у А. Г. Николаева и до 10,0 мг% у В. И. Севастьянова (до полета — 2,7 и 2,44 мг%). На 35 сутки после приземления у В. И. Севастьянова содержание пепсиногена в крови нормализовалось. Выделение пепсиногена с мочой в первые двое суток после приземления у А. Г. Николаева увеличилось до 39,9 единицы, у В. И. Севастьянова — до 41,3 единицы (до полета — 6,6 и 19,0 единицы соответственно). При дальнейших исследованиях был выявлен фазный характер изменения содержания пепсиногена в моче, больше в сторону увеличения, причем максимальная экскреция пепсиногена — до 46,08 единицы — отмечалась у В. И. Севастьянова на седьмые сутки. На 11—12 сутки после полета эти показатели у обоих космонавтов нормализовались. На третьи сутки после полета наблюдали некоторое увеличение содержания трипсина в крови, причем у В. И. Севастьянова до 4,3 миллиединицы (до полета — 0,4 миллиединицы). На 35 сутки после полета у В. И. Севастьянова уровень трипсина в крови оставался повышенным, и одновременно с этим несколько возросла активность ингибитора трипсина в крови — до 456,0 миллиединицы (до полета — 360,5 миллиединицы). При исследовании инкреции амилазы поджелудочной желе-



зы у В. И. Севастьянова было обнаружено на третьи сутки после полета повышение уровня фермента в крови до 162,0 единицы и к 35 суткам обследования до 252 единиц (до полета — 103 единицы). У А. Г. Николаева содержание этого фермента в крови практически не изменялось. Исследование экскреции амилазы в составе мочи выявило у обоих космонавтов постепенное снижение, наиболее выраженное на четвертые — восьмые сутки после полета. Содержание амилазы в моче в этот период у В. И. Севастьянова достигло 0,55 единицы, у А. Г. Николаева — 1,0 единицы (до полета — 3,3 и 5,03 единицы соответственно). На 12 сутки после полета у В. И. Севастьянова сохранился низкий уровень содержания этого фермента в моче. Выделение липазы в крови у обоих космонавтов практически не изменилось, однако было отмечено повышение экскреции липазы в составе мочи. У В. И. Севастьянова на вторые сутки после полета содержание липазы в моче достигло 6,2 миллиединицы (до полета — 1,9 миллиединицы), у А. Г. Николаева к 10 суткам экскреция липазы увеличилась до 7,6 миллиединицы (до полета — 1,9 миллиединицы). При исследовании фекалий на содержание кишечных ферментов — щелочной фосфатазы и энтеропептидазы — в течение 10 суток после полета была отмечена фазность колебаний как в сторону увеличения, так и угнетения.

Таким образом, после 18-суточного орбитального полета обращает на себя внимание разнонаправленность выделения пищеварительных ферментов.

Анализ материалов исследования пищеварительной системы у экипажа космического корабля «Союз-17» после 30-суточного орбитального полета позволяет отметить большую глубину и степень изменений функционального состояния желудочно-кишечного тракта.

После 30-суточного космического полета сразу было отмечено резкое увеличение активности трипсина в крови, более выраженное у Г. М. Гречко — до 16,1 миллиединицы, у А. А Губарева — до 12,7 миллиединицы (до полета — 6,1 и 4,7 миллиединицы). Наряду с этим у обоих космонавтов резко угнеталась амилолитическая активность крови, содержание амилазы в крови у Г. М. Гречко в этот период снизилось до 99,1 единицы (до полета — 180,0 единицы), у А. А. Губарева — до 83,4 единицы (до полета — 156,0 единицы). Липолитическая активность крови при этом возросла у Г. М. Гречко до 35,0 миллиединицы (до полета — 16,6 миллиединицы), у А. А. Губарева — до 26,3 миллиединицы (до полета — 8,6 миллиединицы). Выделение амилазы и липазы в составе мочи в первые сутки после полета резко увеличилось у обоих космонавтов. В этот период не было отмечено изменений в содержании пепсиногена в крови, в то время как в моче его уровень снизился у Г. М. Гречко до 6,8 единицы (фон — 46,8—58,3), у А. А. Губарева — до 13,8 единицы (фон — 23,0—52,0). Изучение в следующие 5 суток после полета экскреции пепсиногена, амилазы и липазы выявило у обоих космонавтов тенденцию к увеличению содержания пепсиногена и липазы в моче и значительное снижение содержания амилазы в моче. У А. А. Губарева на пятые сутки после полета активность амилазы в моче снизилась до 0,6 единицы (до полета — 2,9—3,6 единицы), у Г. М. Гречко значительное снижение было отмечено на третьи сутки. Проведенное на седьмые сутки после полета обследование космонавтов выявило повышение содер-

жания пепсиногена в крови: у А. А. Губарева до 7,6 мг% (до полета — 5,9 мг%, у Г. М. Гречко до 7,2 мг% (до полета — 3,6 мг%). В этот период на высоком уровне сохранилась активность трипсиногена и липазы в крови, уропепсиногена у А. А. Губарева, в то время как у Г. М. Гречко эти показатели достигли предполетных значений. У обоих космонавтов активность амилазы в крови оставалась значительно сниженной. На 30 сутки после полета содержание пепсиногена в крови у А. А. Губарева сохранялось на уровне 7,0 мг%, у Г. М. Гречко снизилось до 2,3 мг%. Активность трипсина в этот период у А. А. Губарева по сравнению с уровнем на 7 сутки не изменилась — 8,9 миллиединицы, у Г. М. Гречко вновь отмечали увеличение этого фермента в крови до 8,0 миллиединицы (до полета — 4,7 и 6,1 миллиединицы соответственно). Активность ингибитора трипсина в крови была угнетена (у Г. М. Гречко — 181,2, у А. А. Губарева — 117,2 миллиединицы). Амилолитическая активность крови при этом возвратилась к предполетному уровню у А. А. Губарева, у А. А. Губарева — 117,2 миллиединицы). Амилолитическая активность полета была отмечена нормализация в содержании пепсиногена и амилазы в крови у обоих космонавтов, активности трипсина у Г. М. Гречко и выделения пепсиногена в составе мочи. У А. А. Губарева активность трипсина возросла до 12,3 миллиединицы. Существенных изменений ферментов тонкого кишечника, характеризующих мембранное пищеварение, до 30 суток послеполетного периода не наблюдалось. На 30 сутки у обоих космонавтов отмечено увеличение содержания инвертазы в кале: до 38,0 мг% у А. А. Губарева и до 43,7 мг% у Г. М. Гречко (до полета 10,7 и 8,8 мг% соответственно). У А. А. Губарева как до полета, так и после полета сохранялся высокий уровень щелочной фосфатазы и к 30 суткам повысилось содержание энтеропептидазы в кале. У Г. М. Гречко содержание кишечных ферментов — щелочной фосфатазы и энтеропептидазы — в течение всего периода обследования не изменялось.

## МОТОРНАЯ ФУНКЦИЯ

Предполетные обследования экипажей космических кораблей «Союз» позволили установить исходные величины моторной функции желудка. Ритм сокращений желудка у всех космонавтов составлял три сокращения в 1 мин., средняя величина амплитуды сокращений была индивидуальной — в пределах 0,10—0,16 мв. Вариационные кривые имели тенденцию к симметрии. Диапазон распределения абсолютных значений амплитуд ограничивался 0,30 мв. В послеполетном периоде у членов экипажа космического корабля «Союз-12» совершившего двухсуточный полет, выявлено уменьшение средней величины амплитуды сокращений желудка, смещение вариационной кривой влево и некоторое уменьшение диапазона распределения абсолютных значений амплитуд. Ритм сокращений желудка оставался постоянным. После семисуточного орбитального полета у космонавтов П. И. Климука и В. В. Лебедева на четвертые сутки также наблюдали уменьшение средней величины амплитуды сокращений, средняя величина частоты перистальтических волн желудка была равна предполетной, но отмечалась неустойчивость ритма (колебания за от-



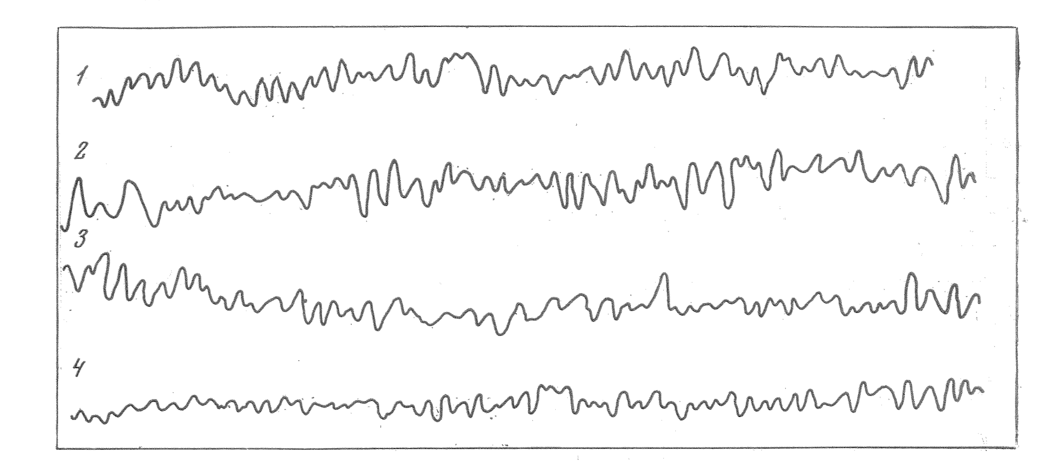



Рис. 90. Электрогастрограммы космонавта А. Г. Николаева после 18-суточного орбитального полета

*1* — до полета; после полета (сутки): *2* — 2-е; *3* — 7-е; *4* — 12-е

дельные пятиминутные интервалы в пределах 2,8—3,2 сокращения в 1 мин.).

Исследование моторной функции желудка у членов космического корабля «Союз-9» после 18-суточного полета позволило выявить изменения как амплитуды, так и ритма сокращений желудка (рис. 90). При этом у В. И. Севастьянова на вторые сутки после приземления средняя величина амплитуды сокращений увеличилась более чем в два раза, среднее число сокращений уменьшилось до 2,5 сокращения в 1 мин. У А. Г. Николаева увеличение амплитуды было менее выражено, а ритм также снизился до 2,5 сокращения в 1 мин. (рис. 91). В последующем было отмечено уменьшение амплитуды и увеличение частоты сокращений. На 12 сутки после приземления у В. И. Севастьянова средняя величина сокращений равнялась 0,15 мв, ритм составлял 2,7 сокращения в 1 мин.; у А. Г. Николаева амплитуда равнялась 0,06 мв, ритм — 2,9 сокращения в 1 мин. При анализе амплитудного построения гастрограмм выявлено значительное расширение диапазона распределения абсолютных значений амплитуд в результате появления отдельных сокращений в диапазоне большой величины, вследствие этого вариационная кривая имела волнообразное строение в правой части (рис. 92). Однако основная масса сокращений приходилась на диапазоны малых амплитуд. На всех гастрограммах наблюдали аритмию сокращений желудка, особенно на вторые — четвертые сутки после приземления. На 12 сутки аритмичность была выражена незначительно.

Изменения амплитудной величины и ритма сокращений были выявлены у членов орбитальной станции «Салют-4» (30-суточный полет) на 12 сутки после приземления. Средняя величина амплитуды сокращений желудка у А. А. Губарева составила 0,13 мв, у Г. М. Гречко — 0,09 мв (до полета — 0,14 и 0,15 мв соответственно). Несмотря на малое отличие величины средней амплитуды у А. А. Губарева от предполетных данных, выявлено различие в амплитудном построении гастрограмм до и

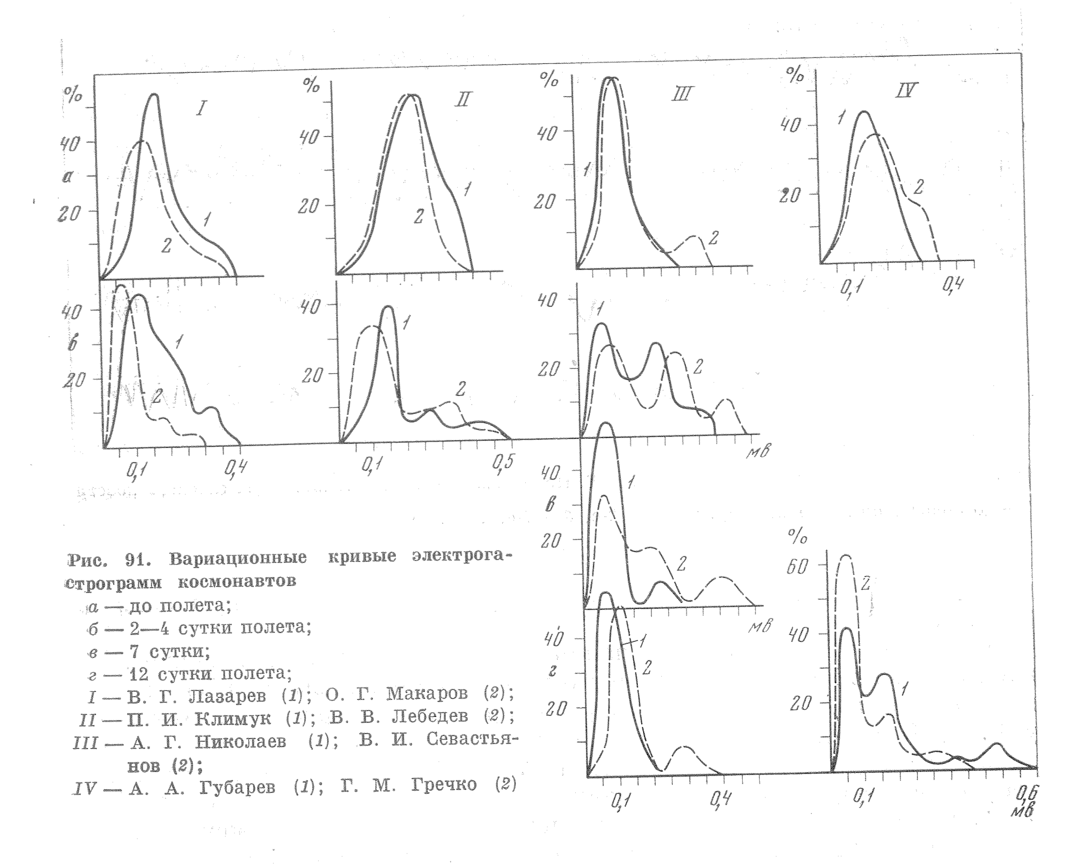



Рис. 91. Вариационные кривые электрогастрограмм космонавтов

*а* — до полета;
*б* — 2—4 сутки полета;
*в* — 7 сутки;
*г* — 12 сутки полета;
*I* — В. Г. Лазарев (*1*); О. Г. Макаров (*2*);
*II* — П. И. Климук (*1*); В. В. Лебедев (*2*);
*III* — А. Г. Николаев (*1*); В. И. Севастьянов (*2*);
*IV* — А. А. Губарев (*1*); Г. М. Гречко (*2*)

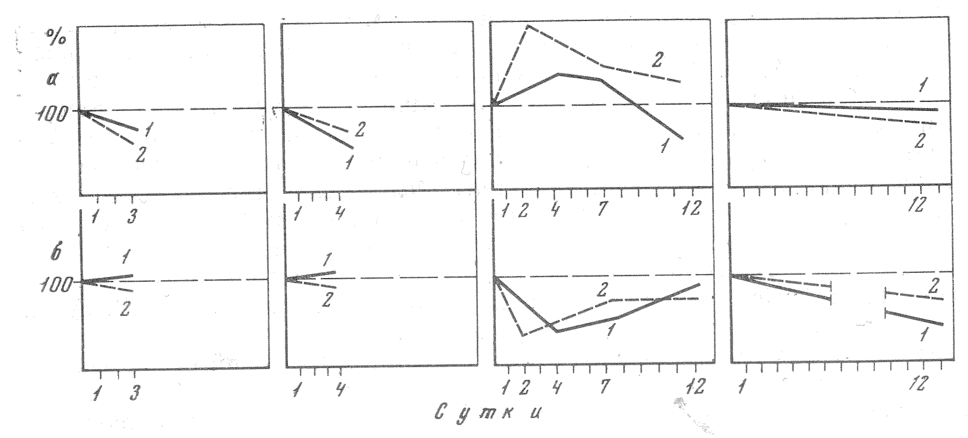



Рис. 92. Изменения амплитудной величины (*а*) и ритма (*б*) сокращения желудка космонавтов в послеполетном периоде

*1* — командир; *2* — бортинженер



после полета. Большее количество амплитуд приходилось на диапазон малых величин, в то же время появлялись единичные сокращения в диапазоне средних величин амплитуд, что выражалось в волнообразном построении правой части вариационной кривой абсолютных значений амплитуд. У Г. М. Гречко в меньшей степени была выражена волнообразность правой части вариационной кривой, но в большей степени отмечалось смещение основной массы сокращений на диапазон малых амплитуд. В связи с этим средняя величина амплитуды сокращений значительно ниже предполетной величины.

Ритм сокращений желудка у А. А. Губарева колебался от 2,2 до 2,8 сокращения в 1 мин., среднее число сокращений — 2,5 в 1 мин. У Г. М. Гречко были отмечены колебания ритма сокращений от 2,4 до 3,0 сокращения в 1 мин., средняя величина составляла 2,7 сокращения в 1 мин.

* * * * *

Сопоставление деятельности пищеварительной системы у космонавтов после полетов различной продолжительности позволило установить ряд имеющих теоретическое и практическое значение закономерностей.

Реакция пищеварительной системы, глубина и степень ее полностью зависят от длительности полета, причем ведущими факторами, вызывающими изменения секреторной и моторной функций, являются гипокинезия и невесомость.

Сделать такое заключение позволило сравнение полученных после полетов результатов с данными проводившихся ранее модельных экспериментов по выяснению влияния длительной гипокинезии и ускорений, а также комбинированного воздействия этих факторов.

К. В. Смирнов (1972) проводил комплексное изучение деятельности системы органов пищеварения при воздействии различных по величине и длительности поперечно направленных ускорений и гипокинезии. Этими исследованиями было показано, что малые величины ускорений вызывали активацию всех процессов в желудочно-кишечном тракте, большие величины — угнетение кислотообразования и ферментовыделения, средние величины — фазность этих процессов, причем длительность восстановительного периода зависела от величины и длительности воздействия. После 14—120-суточной гипокинезии отмечены изменения, выражавшиеся в увеличении протеолитических ферментов желудка и поджелудочной железы, снижении углеводных ферментов и угнетении моторной функции желудка, однако ритм сокращений желудка оставался постоянным.

Отмеченные после кратковременного двухсуточного полета изменения касались, главным образом, выделения уропепсиногена. Исследователями установлено, что уровень пепсиногена в моче в значительной степени также определяет функциональное состояние системы гипофиз — надпочечники (Hirschowitz, 1957, 1967; Gray, 1961; Липовский, 1964; Радбиль, Вайнштейн, 1966).

Можно с уверенностью сказать, что отсутствие существенных изменений пищеварительной системы при кратковременном воздействии гипо-

кинезии и невесомости свидетельствует о незначительной эффективности перегрузок при спуске корабля.

Восьмисуточный орбитальный полет вызывал уже видимую, но кратковременную реакцию всех изучаемых функций желудочно-кишечного тракта, направленную на увеличение выделения, в первую очередь, наиболее лабильных ферментов — в крови — амилазы и в кале — инвертазы. Наряду с этим в составе мочи несколько снижалось выделение амилазы, что, в некоторой степени, указывает на первичные сдвиги в углеводном обмене. Кроме того, после семи- и восьмисуточных полетов происходило параллельное увеличение поступления желудочного профермента — пепсиногена — в кровь и выделение его в составе мочи. Этот факт указывает на изменения, происходящие уже в главных клетках желудка (Коротько, 1963).

Кроме того, 7- и 8-суточные полеты вызывали значительное снижение электрической активности желудка. Однако ритм сокращений гладкой мускулатуры не изменялся. Аналогичные сдвиги секреторного и моторного аппаратов желудочно-кишечного тракта были обнаружены в модельных экспериментах после гипокинезии различной продолжительности (Смирнов, 1972).

Рассматривая деятельность пищеварительной системы после 18-суточного орбитального полета, необходимо отметить бо́льшую глубину и степень полученных сдвигов по сравнению с семи- и восьмисуточными полетами. Резкое увеличение содержания пепсиногена в крови сопровождалось более значительными, чем в предыдущих полетах, фазами увеличения экскреции пепсиногена. Стабильный уровень амилазы в крови сочетался с более существенным снижением выделения этого фермента. Видна реакция и кишечных желез. Были отмечены фазы как увеличения, так и снижения содержания полостных ферментов в фекальных массах. На 35 сутки реадаптационного периода не выявилась полная нормализация полученных сдвигов секреторной функции желудочно-кишечного тракта.

Со стороны моторной функции желудка наблюдалось не только еще большее снижение величины сокращений, но и угнетение ритма сокращений. Этот факт свидетельствует о расбалансировке регуляторных систем, что в конечном итоге приводит к замедлению акта дефекации, к запорам. Таких изменений не приходилось наблюдать ни после воздействия бо́льших по величине ускорений, ни после продолжительной экспериментальной гипокинезии. Есть основания предполагать, что ведущим фактором, вызывающим подобные сдвиги, является невесомость (Смирнов, 1972).

И, наконец, после 30-суточного полета определяется влияние невесомости. На это указывают и характер полученных изменений, и длительность восстановительного периода. Если после 18-суточного полета среди протеолитических ферментов пищеварительной системы можно было отметить увеличение содержания пепсиногена, то после 30-суточного полета параллельно усилению выделения пепсиногена по инкреторному и экскреторному путям имеет место увеличение инкреции панкреатического белкового фермента — трипсина. Резкое снижение содержания амилазы в крови и параллельно с этим снижение ее выделения с мочой свидетельствует о недостаточном синтезе этого фермента поджелудочной



железой. Отмеченные изменения указывают на заинтересованность гормональной системы желудочно-кишечного тракта в условиях невесомости. Однако со стороны собственно кишечных ферментов — инвертазы и глицил-l-лейциндипептидазы — не обнаружено существенных сдвигов. Этот факт еще раз подтверждает представление И. П. Разенкова (1946) о сопряженном вовлечении органов желудочно-кишечного тракта в общие защитные механизмы. В первую очередь на какое-либо воздействие реагируют органы пищеварения с преимущественно нервной регуляцией (желудочные железы), затем те железы, в деятельности которых наряду с нервной регуляцией существенное значение имеют и гуморальные механизмы (поджелудочная железа, кишечные железы). Кроме того, угнетение моторной функции после 30-суточного полета более выражено, чем после 18-суточного полета. На это указывает характер кривой распределения амплитуд сокращений желудка, снижение ритма сокращений. Большее количество амплитуд приходилось на диапазон малых величин, но появление одиночных сокращений в диапазоне больших величин придавало амплитудному построению гастрограмм волнообразный характер. Эти сдвиги моторной функции желудка еще раз подтверждают действие невесомости. Четкое снижение ритма желудочных сокращений, с одной стороны, говорит о глубине изменений, с другой — указывает не только на угнетение вагусной иннервации, но и на дискоординацию регуляторных процессов в связи с реадаптацией к земным условиям. К 45 суткам послеполетного периода была отмечена тенденция к нормализации большинства изученных функций. Это позволяет думать не об органических изменениях в пищеварительной системе, а о приспособительном характере этих сдвигов в периоде реадаптации.

При невесомости отсутствие веса приводит к снижению тонического напряжения мускулатуры, т. е. исключается изометрическое напряжение мышц (Celentano et al., 1963). В связи с этим происходит атрофия мышц, что ведет к усилению катаболических процессов, как и при экспериментальной гипокинезии (Португалов и др., 1968; Гаевская и др., 1970). Прогрессирующая атрофия мышц влечет за собой изменения в интермедиарном обмене. Невесомость изменяет течение биокаталитических процессов так, что пищевое обеспечение, достаточное для обычных условий, становится неадекватным для условий космического полета. Таким образом, реакция пищеварительной системы в космическом полете на воздействие невесомости вторична и связана, главным образом, со сдвигами в гемодинамике и нервно-мышечном аппарате (Смирнов, 1972).

Наши первые немногочисленные исследования показали, что система органов пищеварения претерпевает определенные сдвиги после воздействия факторов космического полета, в первую очередь невесомости. Причем степень и продолжительность изменений функционального состояния пищеварительной системы прямо зависит от величины экстремального фактора и времени его воздействия. На данном этапе исследований с полной уверенностью можно говорить о приспособительно-компенсаторных реакциях железистого и мышечного аппаратов желудочно-кишечного тракта к воздействию факторов космического полета. Это подтверждает обратимость процессов выделения пищеварительных ферментов, довольно быстрая нормализация ритма желудочных сокращений. Особенно важно при этом подчеркнуть незначительные изменения со сто-

роны кишечных ферментов, локализованных на мембранах энтероцитов. Этот факт, в свою очередь, указывает на тонкую приспособляемость деятельности пищеварительной системы.

Полученные данные характеризуют деятельность желудочно-кишечного тракта в реадаптационном периоде. Пока мы не знаем, как развиваются изменения системы пищеварения в самом космическом полете. Эти вопросы ждут своего решения в последующих исследованиях. Кроме того, до сих пор до конца не ясны механизмы изменений функций желудочно-кишечного тракта. По этому поводу мы можем пока строить предположения. Трактовку наших данных мы считаем сугубо предварительной и не свободной от ошибок. Эти исследования были проведены впервые и не охватывают всех сторон деятельности пищеварительной системы. Совершенно понятно, что космический полет человека с многообразием его экстремальных воздействий, со все еще необычной и сложнейшей проблемой невесомости и эмоциональным напряжением таит в себе огромное количество подчас неожиданных для исследователей загадок.

# Глава 14. ИССЛЕДОВАНИЕ АУТОМИКРОФЛОРЫ ПОКРОВНЫХ ТКАНЕЙ КОСМОНАВТОВ

Во время подготовки и проведения первых полетов советских космонавтов на кораблях серии «Восток» большое внимание было уделено проведению всестороннего комплекса медико-физиологических и биологических исследований. Среди них определенное место отводилось исследованиям состава аутомикрофлоры покровных тканей и иммунобиологической реактивности космонавтов. Было показано (Алексеева, 1962, 1965), что условия космического полета способны оказывать неблагоприятное влияние, вызывая снижение иммунобиологической реактивности организма и появление сдвигов в составе аутомикрофлоры.

Американские исследователи изучали состав микрофлоры покровных тканей астронавтов до и после полетов космических кораблей «Джемини» и «Аполлон». Они показали, что во время полетов космических кораблей типа «Джемини» в аутомикрофлоре покровных тканей астронавтов увеличивается общее число микроорганизмов (Nature, 1967). Однако изменений в составе микрофлоры не было отмечено.

В большой работе «Infection Disease in manned spaceflight», а также в отдельных сообщениях Берри (Berry, 1967, 1969, 1970) и других приведены сведения о результатах исследования микрофлоры покровных тканей астронавтов до и после полетов в космических кораблях «Аполлон-7, 8, 10». После приземления астронавтов на их покровных тканях отмечали более высокое содержание микроорганизмов по сравнению с результатами предполетных исследований. Так, после полета «Аполлон-7» в полости рта и зева наблюдали увеличение числа $\alpha$-гемолитических стрептококков, Staph. aureus и Aspergillus fumigatus. Содержание дрожжеподобных грибков рода Candida не изменялось.

Наиболее обширные микробиологические исследования были проведены до и после полета космического корабля «Аполлон-8». Изучение микрофлоры кожных покровов (подмышечной области, паховой области, кожи рук) проводили за 30, 14 суток и непосредственно перед полетом и сразу же после посадки. Перед полетом из полости носа одного из астронавтов выделяли Corynebacterium pyogenes в количестве 30 и 40 особей в 1 мл смыва. После полета эти микроорганизмы не были выделены. В смыве из полости рта (полученном путем полоскания) этого астронавта до полета выделяли Staph. aureus, Diploc. pneumoniae в количестве $2 \cdot 10^3$ в 1 мл; после полета — Diploc. pneumoniae в количестве $5 \cdot 10^4$ и $\alpha$-гемолитические стрептококки в количестве $7{,}0 \cdot 10^4$ в 1 мл. смыва.

У другого астронавта из полости носа перед полетом и после полета выделяли Proteus mirabilis, бактерии группы Klebsiella-Aerobacter. В полости рта и зева у этого астронавта до полета обнаруживали бактерии

группы Klebsiella-Aerobacter в количестве соответственно 30 и 10 клеток, Proteus mirabilis — 10 в 1 мл смыва; α-гемолитические стрептококки в количестве $5 \cdot 10^4$ и $4 \cdot 10^2$ в 1 мл смыва соответственно. После полета из полости рта этого космонавта были выделены Proteus mirabilis, бактерии группы Klebsiella-Aerobacter в количестве $4{,}2 \cdot 10^2$, негемолитические стрептококки в количестве $4 \cdot 10^4$ клеток в 1 мл смыва.

У третьего астронавта в полости носа содержались до полета преимущественно бактерии группы Klebsiella-Aerobacter, которые после полета не были обнаружены. В смыве из его полости рта до полета были выделены Staphylococcus aureus в количестве $10^5$, негемолитические стрептококки $4 \cdot 10^4$ бактерии группы Klebsiella-Aerobacter—10, Diplococcus pneumoniae — $1{,}2 \cdot 10^6$, $4{,}7 \cdot 10^5$, $2{,}3 \cdot 10^6$ в 1 мл смыва соответственно за каждый срок предполетного обследования. После полета в смыве из полости рта выделяли только Diplococcus pneumoniae в количестве $2 \cdot 10^5$.

Количественный и качественный состав микрофлоры кожных покровов за время полета практически не изменялся. Не наблюдалось изменений также и в составе грибковой флоры.

Во время предполетных и послеполетных обследований в полости носа и рта у членов экипажа космического корабля «Аполлон-10» преимущественно обнаруживали Escherichia coli, Corinebacterium pyogenes, Staph. aureus.

Однако, к сожалению, во всех работах, посвященных результатам исследования аутомикрофлоры покровных тканей астронавтов до и после полета, американские исследователи не приводят величин уровней общей микробной загрязненности их верхних дыхательных путей и кожи, что не дает возможности получить представление о массивности микробного очага и интенсивности выделения микроорганизмов в окружающую среду в этих специфических условиях.

С другой стороны, различия в газовом составе среды обитания американских и советских космических кораблей могут явиться одной из причин появления неодинаковых по характеру изменений в составе аутомикрофлоры у американских астронавтов и советских космонавтов. Указанное предположение основано на экспериментальных данных, показывающих возможность появления более выраженных изменений в резистентности организма и в микробных клетках при нахождении их в атмосфере с повышенным содержанием кислорода (Giron et al., 1967; Schmidt et al., 1967; Stunkardt, 1970).

Нами были проведены пред- и послеполетные исследования количественного и качественного состава аутомикрофлоры космонавтов: членов экипажей космических кораблей «Восход-1», «Союз-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 и 11».

Установлено, что в кратковременных (1—3 суток) космических полетах не происходит выраженных изменений уровня микробной загрязненности кожных покровов и верхних дыхательных путей космонавтов. В качестве примера могут быть приведены результаты пред- и послеполетных исследований аутомикрофлоры покровных тканей членов экипажа космического корабля «Восход-1» (табл. 50).

Количество микробов на коже космонавтов после полета практически не изменилось по сравнению с фоновыми данными. Отмеченные колеба-



Таблица 50. **Микрофлора кожных покровов космонавтов (в абсолютных числах на 1 см² кожи)**

| Время исследования | Общее число микробов | | | Число стафилококков | | | Число гемолитических микробов | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | В. М. Комаров | Б. Б. Егоров | К. П. Феоктистов | В. М. Комаров | Б. Б. Егоров | К. П. Феоктистов | В. М. Комаров | Б. Б. Егоров | К. П. Феоктистов |
| **До полета, сутки** | | | | | | | | | |
| 36 | 350 | 88 | 220 | 210 | 50 | 44 | 35 | 22 | 30 |
| 18 | 220 | 85 | 350 | 66 | 50 | 140 | 100 | 42 | 290 |
| 10 | 570 | 230 | 230 | 250 | 140 | 92 | 100 | 110 | 23 |
| **День посадки** | 180 | 170 | 200 | 162 | 153 | 170 | 144 | 80 | 130 |
| **Через сутки после посадки** | 510 | 130 | 160 | 470 | 110 | 90 | 56 | 90 | 64 |

ния в уровне микробной загрязненности в основном носили индивидуальный характер. Однако обращает на себя внимание увеличение относительного содержания стафилококков, отмеченное на коже космонавтов в день посадки. В среднем количество стафилококков составляло 80—90% от общего числа микробов, тогда как в фоновый период их содержание не превышало 60%.

Уровень микробной загрязненности полости рта и зева космонавтов после суточного космического полета также не изменился по сравнению с предполетными данными. Количество α-гемолитических стрептококков в полости рта и зева космонавтов было невысоким и оставалось после полета практически в пределах фоновых величин (табл. 51).

Микрофлора верхних дыхательных путей до полета была представлена преимущественно стафилококками и дифтероидами. Однако после полета происходила определенная смена видов микроорганизмов, вегетирующих на этом участке покровных тканей космонавтов, причем если у космонавтов В. М. Комарова и Б. Б. Егорова она была представлена исключительно стрептококками, то у К. П. Феоктистова резко увеличилось количество Diplococcus pneumoniae.

Аналогичные сдвиги в составе аутомикрофлоры покровных тканей имели место после 4-суточного полета космонавта Г. Т. Берегового на космическом корабле «Союз-3».

К сожалению, большая вариабельность в содержании микроорганизмов, а также сравнительно небольшое количество предполетных исследований не позволили получить достоверные средние величины общего содержания микробов, вегетирующих на коже Г. Т. Берегового перед полетом (табл. 52).

Как видно из данных, представленных в табл. 52, после полета на коже Г. Т. Берегового увеличивалось относительное содержание стафилококков, которые составляли около 90% общего числа микробов.

Изучение грибковой флоры гладкой поверхности кожи (в области предплечья) методом отпечатков с использованием среды Сабуро не поз-

Таблица 51. **Микрофлора зева членов экипажа космического корабля «Восход-1» (в абсолютных числах·$10^6$ в 1 мл смыва)**

| | Общее число микробов | | | Количество α-гемолитических стрептококков | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | В. М. Комаров | Б. Б. Егоров | К. П. Феоктистов | В. М. Комаров | Б. Б. Егоров | К. П. Феоктистов |
| **До полета** | | | | | | |
| 36 | 1,6 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,1 | 0,1 |
| 18 | 1,5 | 1,7 | 2,8 | 0,8 | 0,8 | 0,5 |
| 10 | 1,1 | 2,5 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| **День посадки** | 2,9 | 1,3 | 0,7 | 0,4 | 0,1 | 0,1 |
| **Через сутки после полета** | 0,9 | 0,1 | 5,5 | 0,85 | 0,1 | 0,1 |

Таблица 52. **Микрофлора кожи у космонавта Г. Т. Берегового до и после полета (в абсолютных числах на 1 см² кожи)**

| Показатель | Перед полетом, сутки | | День посадки | На следующий день после посадки |
|---|---|---|---|---|
| | 23 | 3 | | |
| **Общее число микробов** | 4 | 64 | 16 | 16 |
| **Количество** | | | | |
| гемолитических форм микробов | Не обнаружено | 10 | 1 | 1 |
| стафилококков | 2 | 40 | 14 | 9 |
| дифтероидов | 1 | 23 | 1 | 6 |
| грамположительных спороносных палочек | 1 | Не обнаружено | 1 | Не обнаружено |

волило обнаружить присутствия мицелиальных, а также дрожжеподобных форм грибков как до, так и после полета.

Общее содержание микробов в полости рта и зева космонавта Г. Т. Берегового после полета существенно не отличалось от величин, установленных до полета. В основном микрофлора была представлена α-гемолитическими стрептококками, являющимися постоянными обитателями полости рта и зева здорового человека.

После полета в верхних дыхательных путях космонавта наблюдали появление в большом количестве бактерий кишечной группы (в день приземления 120 микробов в 1 мл смыва), которых непосредственно перед полетом не обнаруживали.

В результате исследования микрофлоры полости рта и зева космонавта были установлены определенные изменения в содержании и видовом составе дрожжеподобных грибков. Эти изменения, с одной стороны, характеризовались снижением числа грибков рода кандида после полета. Так, если до полета в 1 мл смыва в среднем насчитывалось 35 особей грибков, то в день приземления было обнаружено 6 особей. В период



послеполетного обследования все выделенные штаммы дрожжеподобных грибков обладали способностью образовывать при 37° в течение 3 час. псевдомицелий, что дало основание их отнести к Candida albicans. Все штаммы указанных микроорганизмов не обладали способностью лизировать эритроциты человека и коагулировать кроличью плазму.

Вместе с тем, несмотря на отсутствие указанных признаков патогенности, появление дрожжеподобных грибков вида Candida albicans является признаком изменения видового состава микрофлоры зева в неблагоприятную сторону.

При исследовании микрофлоры полости носа космонавта изменений в ее количественном и качественном составе после полета по сравнению с фоновыми данными не обнаружено.

Однако, по-видимому, появление изменений в составе аутомикрофлоры не было обусловлено специфическим действием факторов космического полета. Основанием для такого предположения являются результаты исследования состава аутомикрофлоры покровных тканей космонавтов, входивших в состав экипажей космических кораблей «Союз-4, 5, 6, 7, 8». Было установлено отсутствие сдвигов в количественном и качественном составе аутомикрофлоры кожи и верхних дыхательных путей семи космонавтов после полета по сравнению с результатами предполетных исследований.

Нами было проведено изучение количественного и качественного состава аутомикрофлоры покровных тканей космонавтов А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова до и после 18-суточного полета в космическом корабле «Союз-9». После окончания полета аутомикрофлору исследовали через 1,5 часа после приземления и на 2, 7 и 12-е сутки.

При изучении состава аутомикрофлоры покровных тканей космонавтов, помимо содержания грамположительной палочковой и кокковой флоры, большое внимание уделяли идентификации грамотрицательной палочковой и кокковой флоры, представители которой являются постоянными обитателями верхних дыхательных путей и кожных покровов человека.

Как показали результаты исследований, наиболее выраженные сдвиги после окончания полета были выявлены в аутомикрофлоре кожных покровов космонавтов. На гладкой поверхности кожи увеличивалось число видов микроорганизмов, одновременно резко повышалось общее количество микробов (табл. 53), причем состав аутомикрофлоры гладкой поверхности кожи у этих космонавтов изменялся неодинаково. Так, если у обоих космонавтов появилось значительное число дифтероидов, то у А. Г. Николаева также появилось значительное число грамположительных неспороносных палочек, грамотрицательных кокков рода Neisseria и грамотрицательных палочек.

Как показано в табл. 54, 55 состав аутомикрофлоры подмышечной впадины космонавтов в определенной степени повторял состав аутомикрофлоры гладкой поверхности кожи. Однако до полета в этой области кожного покрова космонавтов отмечали наличие микроорганизмов, которые не были обнаружены на гладкой поверхности кожи. Так, у В. И. Севастьянова, помимо общего для всех участков кожи присутствия стафилококков и дифтероидов, обнаруживали стрептококки, грамположительные неспороносные палочки, а также грамотрицательные палочки рода

Таблица 53. **Общее число микробов и их состав на гладкой поверхности кожи (в области левой лопатки на площади 109 см²)**

| Показатель | Сутки до полета | | Через 1,5 часа после приземления | Сутки после приземления | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 36 | 1 | | 2 | 7 | 12 |
| **В. И. Севастьянов** | | | | | | |
| **Общее число микробов** | 840±90 | 135±25 | 8850±250 | 1120±100 | 3360±1200 | — |
| **Количество** | | | | | | |
| стафилококков | 840±90 | 135±25 | 7080±1800 | 1100±100 | 3250±1000 | — |
| гемолитических стафилококков | 420±65 | 130±10 | 3750±3700 | 1100±100 | 15±15 | — |
| дифтероидов | 0 | 0 | 1740±1500 | 0 | 0 | — |
| грамположительных неспоровых палочек, негемолитических | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | — |
| **А. Г. Николаев** | | | | | | |
| **Общее число микробов** | 1120±130 | 170±37 | 12 700±3800 | 100±12 | 310±66 | — |
| **Количество** | | | | | | |
| стафилококков | 1030±200 | 170±37 | 160±160 | 65±9 | 240±100 | — |
| гемолитических стафилококков | 1030±200 | 120±0 | 160±160 | 40±16 | 240±100 | — |
| дифтероидов | 24±24 | 0 | 9300±9000 | 0 | 20±20 | — |
| α-гемолитических стрептококков | 50±50 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| грамположительных неспоровых палочек, негемолитических | 0 | 0 | 2700±2000 | 25±8 | 0 | — |
| грамположительных неспоровых палочек, гемолитических | 0 | 0 | 90±90 | 0 | 40±20 | — |
| грамотрицательных кокков рода Neisseria | 0 | 0 | 200±200 | 0 | 0 | — |
| грамотрицательных палочек, гемолитических | 0 | 0 | 0 | 8±5 | 15±15 | — |

Klebsiella. У космонавта А. Г. Николаева были обнаружены грамотрицательные кокки рода Neisseria, а также грамотрицательные негемолитические палочки.

После полета у В. И. Севастьянова отмечали увеличение общего числа микробов в области левой подмышечной впадины, которое происходило преимущественно за счет повышения относительного и абсолютного содержания дифтероидов. Выделяли также грамположительные неспороносные палочки, обладавшие способностью лизировать эритроциты крови человека. У А. Г. Николаева увеличение уровня микробной загрязненности этого участка кожного покрова происходило в результате возрастания числа гемолитических форм стафилококков. При этом наблюдали



Таблица 54. **Общее число и состав микроорганизмов, вегетирующих в области левой подмышечной впадины, до и после полета**

| Изучаемые показатели | Сутки до полета | | Через 1,5 часа после приземления | Сутки после приземления | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 36 | 1 | | 2 | 7 | 12 |
| **В. И. Севастьянов** | | | | | | |
| **Общее число микробов** | 22 800±450 | 37 700±12 000 | 48 000±48 000 | 1480±130 | 1680±40 | 2760±450 |
| **Количество** | | | | | | |
| стафилококков | 490±70 | 8600±670 | 7900±770 | 130±130 | 150±50 | 510±250 |
| гемолитических стафилококков | 64±9 | 945±325 | 5800±650 | 70±33 | 150±50 | 450±250 |
| дифтероидов | 8350±1000 | 24 500±10 000 | 35 300±35 000 | 1270±125 | 1380±300 | 2250±250 |
| стрептококков | 8000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| грамположительных неспороносных палочек, негемолитических | 6000±900 | 0 | 5±3 | 70±50 | 150±60 | 0 |
| бактерий рода Haemophilus | 0 | 4300±2700 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| грамположительных неспороносных палочек, гемолитических | 0 | 0 | 45±25 | 5±5 | 0 | 5±5 |
| грамотрицательных палочек рода Klebsiella | 0 | 0 | 5±3 | 0 | 0 | 0 |
| **А.Г. Николаев** | | | | | | |
| **Общее число микробов** | 11 500±1500 | 480±400 | 187 000±120 000 | 10 900±9000 | 75 500±21 000 | 113 000±100 000 |
| **Количество** | | | | | | |
| стафилококков | 2600±500 | 150±62 | 172 000±100 000 | 5300±3000 | 11 500±5900 | 23 800±11 600 |
| гемолитических стафилококков | 2200±600 | 22±10 | 150 000±100 000 | 4900±3000 | 0 | 0 |
| дифтероидов | 4400±1000 | 270±150 | 0 | 5400±5000 | 34 300±20 000 | 50 000±50 000 |
| грамположительных неспороносных палочек, негемолитических | 0 | 0 | 15 000±10 000 | 0 | 20 000±20 000 | 25 000±800 |
| грамположительных неспороносных палочек, гемолитических | 0 | 0 | 0 | 45±20 | 0 | 0 |
| грамотрицательных кокков рода Neisseria | 4400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| грамотрицательных палочек рода Klebsiella | 60±40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 000±15 000 |

Таблица 55. **Общее число и состав микроорганизмов в полости рта и зева космонавтов до и после полета (в абсолютных числах·$10^6$)**

| Изучаемые показатели | Сутки до полета | | Через 1,5 часа после приземления | Сутки после приземления | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 36 | 1 | | 2 | 7 | 12 |
| **В. И. Севастьянов** | | | | | | |
| **Общее число микробов** | 3,1±1,1 | 105±43 | 100±30 | 1,2±0,5 | 80±15 | 36±10 |
| **Количество** | | | | | | |
| гемолитических стрептококков | 1,0±0,3 | 51±10 | 5,1±1,2 | 0,6±0,1 | 7,3±2,5 | 7,0±1,8 |
| негемолитических диплококков | 0,45±0,08 | 0 | | | | |
| гемолитических диплококков | 0,05±0,005 | 0 | | | | |
| диплококков рода Neisseria, гемолитических | 0,1±0,1 | 0 | | | | |
| грамположительных негемолитических кокков | 0 | 19±3,5 | | | | |
| бактерий рода Klebsiella | 0 | 0 | 130 | 2 | 0 | 0 |
| **Дрожжи** | 0 | 0 | 6 | 6 | 6 | 0 |
| **А. Г. Николаев** | | | | | | |
| **Общее число микробов** | 4,6±0,8 | 243±150 | 100±45 | 3,3±0,8 | 110±25 | 45±15 |
| **Количество** | | | | | | |
| α-гемолитических стрептококков | 2,1±0,3 | 215—100 | 50±18 | 1,1±0,2 | 90±28 | 14±3 |
| α-гемолитических грамотрицательных палочек | 1,3±0,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| грамположительных неспоровых палочек, негемолитических | 0 | 12±10 | | | | |
| бактерий рода Klebsiella | 0 | 0 | 500 | 24 | 80 | 0 |
| Kandida albicans | 70 | 330 | 240 | 160 | 200 | 75 |
| лактозоположительных грамотрицательных кокков на среде Эндо | 0 | 0 | 450 | 24 | 0 | 0 |
| **Дрожжи** | 0 | 108 | 0 | 0 | 180 | 42 |



появление и резкое увеличение количества негемолитических грамположительных неспороносных палочек.

Следует подчеркнуть, что найденные через 1,5 часа после приземления изменения видового состава аутомикрофлоры в области подмышечной впадины космонавтов прослеживались довольно длительное время (до двух недель) в восстановительном периоде.

После полета нами было проведено исследование состава микрофлоры межпальцевых промежутков левой ноги космонавтов, которое показало, что здесь у обоих космонавтов содержатся лишь гемолитические стафилококки. Количество грибков у космонавтов оказалось небольшим. В основном грибки были представлены мицелиальными формами рода Penicillium. Помимо этого, у космонавта В. И. Севастьянова в 1 мл смыва с этого участка кожи было обнаружено наличие 12 грибков Candida albicans.

В полости рта и зева космонавтов перед полетом отмечали довольно высокое содержание общего числа микробов, значительно превышающее величины, установленные для здорового человека. При этом у космонавта В. И. Севастьянова микрофлора была представлена преимущественно α-гемолитическими и негемолитическими стрептококками. В этот период также обнаруживали гемолитические грамположительные и грамотрицательные диплококки. Последние нами были отнесены к роду Neisseria. Выделяли также дрожжеподобные грибки рода Candida.

В полости рта и зева космонавта А. Г. Николаева перед полетом в большом количестве выделяли α-гемолитические стрептококки, негемолитические грамположительные неспоровые палочки, а также дрожжеподобные грибки Candida albicans и дрожжи.

В день приземления в полости рта и зева космонавтов наблюдали заметное снижение по сравнению с фоновыми данными содержания α-гемолитических стрептококков, особенно выраженное у В. И. Севастьянова.

Для более детального исследования состава стрептококковой флоры перед полетом и после окончания была изучена способность выделяемых из полости рта и зева космонавтов штаммов α-гемолитических стрептококков лизировать фибрин кроличьей крови. Установлено, что относительное содержание фибринолизирующих α-гемолитических стрептококков в полости рта и зева космонавтов после полета практически не изменялось.

Однако обращает на себя внимание продолжающееся значительное превышение уровня общей микробной загрязненности полости рта и зева космонавтов по отношению к средним величинам, установленным для здорового человека. Указанное обстоятельство дает основание предположить высокую массивность микробного очага в верхних дыхательных путях космонавтов и во время их 18-суточного пребывания в космическом корабле «Союз-9».

Как показывают данные, представленные в табл. 56, во время полета имели место неблагоприятные сдвиги в составе аутомикрофлоры верхних дыхательных путей космонавтов, о чем свидетельствовало появление в большом количестве после полета в полости рта и зева космонавтов бактерий рода Klebsiella. На это также могло указывать обнаруженное после полета в большом количестве в полости рта и зева А. Г. Николаева

лактозоположительных грамотрицательных кокков, устойчивых к бактерицидному действию основного фуксина.

После полета резко возрастало общее содержание микроорганизмов в полости носа космонавтов, значительно превышая средние величины, которые нами были найдены для здорового человека в обычных условиях его обитания (см. табл. 56).

При этом увеличение общего числа микробов происходило преимущественно за счет повышения содержания дифтероидов. Последнее было наиболее выражено у А. Г. Николаева.

В полости носа космонавта в день приземления были обнаружены грамположительные неспоровые палочки, внешний вид колоний которых был аналогичным колониям микроорганизмов, выделяемых в этот период с их кожных покровов. К сожалению, нам не удалось произвести полную идентификацию указанных микроорганизмов. Однако было установлено, что эти палочки не имеют зерен волютина, не образуют спор, а также не способны расти на среде с мочевиной (среда П. Данилу).

Нами установлено, что во время пребывания людей в герметичном помещении в микрофлоре их покровных тканей происходят сдвиги в составе стафилококков. В связи с этим до и после 18-суточного полета большое внимание было уделено изучению состава указанных микроорганизмов на коже и в верхних дыхательных путях космонавтов.

Результаты исследования содержания лецитиназоположительных штаммов стафилококков позволили отметить, что у космонавта В. И. Севастьянова после полета резко возросло количество указанных форм микроорганизмов (примерно в 30 раз) в полости носа. На других участках покровных тканей этого космонавта, а также космонавта А. Г. Николаева содержание стафилококков, обладающих лецитиназной активностью, практически не изменялось по сравнению с фоновыми данными.

До и после окончания полета с различных участков покровных тканей космонавтов (с кожи, из полости рта и носа) было выделено по 20 штаммов стафилококков, у которых изучена устойчивость к следующим антибиотикам: пенициллину, стрептомицину, левомицетину, тетрациклину, эритромицину и мономицину. Результаты исследования устойчивости стафилококков к представителям трех основных групп антибиотиков — пенициллину, левомицетину, тетрациклину — представлены в табл. 57. Содержание стафилококков, резистентных по отношению к трем другим антибиотикам, после приземления космонавтов практически не изменялось.

Как видно из данных, представленных в табл. 57, в день приземления космического корабля «Союз-9» отмечали увеличение по сравнению с предполетными исследованиями количества стафилококков, устойчивых к пенициллину и левомицетину у В. И. Севастьянова и устойчивых к тетрациклину у А. Г. Николаева.

Обращает на себя внимание и то обстоятельство, что на вторые и седьмые сутки пребывания в стационаре у космонавта В. И. Севастьянова, наряду с высоким содержанием в полости носа стафилококков, обладавших признаками патогенности, до 80—90% выделенных штаммов стафилококков были резистентными к пенициллину.

Таким образом, после 18-суточного космического полета на покровных тканях космонавтов значительно возрастала массивность микробного очага



Таблица 56. Общее число и состав микробов в полости носа космонавтов до и после полета (в абсолютных числах·$10^4$ на тампоне)

| Показатель | Сутки до полета | | Через 1,5 часа после приземления | Сутки после приземления | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 36 | 1 | | 2 | 7 | 12 |
| **В. И. Севастьянов** | | | | | | |
| **Общее число микробов** | 0,24±0,1 | 0,55±0,16 | 61,2±29,2 | 31±25 | 7,85±1,4 | 0,69±0,5 |
| **Количество** | | | | | | |
| стафилококков | 0,12±0 | 0,25±0,08 | 26±8,6 | 31±25 | 7,85±1,4 | 0,69±0,5 |
| гемолитических стафилококков | 0,09±0,05 | 0,25±0,08 | 26±8,6 | 31±25 | 7,85±1,4 | 0,69±0,5 |
| дифтероидов | 0,12±0,1 | 0 | 27,2±9,0 | 0 | 0 | 0 |
| грамположительных палочек, негемолитических | 0 | 0 | 8±5 | 0 | 0 | 0 |
| **А. Г. Николаев** | | | | | | |
| **Общее число микробов** | 4,3±3,0 | 28,4±3,0 | 1000±700 | 2,9±2,4 | 1,0±0,15 | 27,5±10 |
| **Количество** | | | | | | |
| стафилококков | 4,3±3,0 | 1,0±0,8 | 14±10 | 1,3±0,5 | 0,56±0,06 | 3,3±1,1 |
| гемолитических стафилококков | 3,8±2,5 | 1,0±0,8 | 14±10 | 0,95±0,4 | 0,5±0,16 | 3,3±1,1 |
| пневмококков | 0 | 2,0±0,6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| грамотрицательных палочек | 0 | 25±3,0 | 0 | 0,0009 | 0 | 0 |
| дифтероидов | 0 | 0 | 970±600 | 1,4±1,0 | 0 | 24,2±9,0 |
| грамположительных палочек негемолитических | 0 | 0 | 8±4 | 5,0±3,0 | 0,04±0,02 | 0 |

Таблица 57. **Антибиотическая устойчивость стафилококков, выделенных с различных участков покровных тканей космонавтов**

| Время исследования | Место исследования | Число выделенных штаммов | Из них были устойчивы к | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | пенициллину | левомицетину | антибиотикам тетрациклиновой группы |
| **В. И. Севастьянов** | | | | | |
| **Перед полетом** | Нос | 20 | 3 | 10 | 14 |
| | Зев | 20 | 4 | 2 | 19 |
| | Кожа | 20 | 0 | 1 | 10 |
| **После приземления** | Нос | 20 | 20 | 1 | 5 |
| | Зев | — | — | — | — |
| | Кожа | 20 | 7 | 16 | 16 |
| **А. Г. Николаев** | | | | | |
| **Перед полетом** | Нос | 19 | 13 | 2 | 12 |
| | Зев | 20 | 4 | 1 | 19 |
| | Кожа | 20 | 0 | 0 | 0 |
| **После приземления** | Нос | 20 | 0 | 0 | 19 |
| | Зев | 16 | 3 | 1 | 3 |
| | Кожа | 20 | 4 | 4 | 8 |

за счет преимущественного увеличения содержания некоторых представителей их аутомикрофлоры: стафилококков, дифтероидов, бактерий рода Klebsiella и грамположительных неспоровых палочек.

При этом следует подчеркнуть, что выраженность сдвигов в составе аутомикрофлоры космонавтов после 18-суточного космического полета была более значительной, чем после 22-суточного пребывания испытателей в макете корабля «Союз» в условиях, максимально приближающихся по ряду факторов (питание, водообеспечение, объем мероприятий личной гигиены, системы регенерации и очистки воздуха и др.) к космическому полету. Как установлено результатами исследования, в этом эксперименте изменения в уровне микробной загрязненности покровных тканей после выхода испытателей из гермокамеры были незначительными и находились в пределах исходных величин. Состав микрофлоры также практически не изменился по сравнению с результатами фоновых исследований.

В связи с этим можно предположить, что комплекс факторов, присущих реальному космическому полету, способен оказывать более значительное влияние на уровень микробной обсемененности и состав микроорганизмов на коже и в верхних дыхательных путях человека, чем это наблюдается при действии факторов, которые можно воссоздать в условиях Земли.

В настоящее время трудно выделить из этого комплекса какой-то основной фактор. Однако если учесть, что в ряде наземных экспериментов воссоздавались все условия космического полета, кроме невесомости и того эмоционального напряжения, которое испытывают космонавты во время полета, есть основания предполагать, что в комплексе факторов их влияние может быть определяющим. Вместе с тем не исключено, что на фоне их постоянного действия влияние таких факторов, как специфический рацион питания, ограничение объема средств личной гигиены, измененная по химическому составу воздушная среда, режим труда и отдыха, и другие факторы приобретают более выраженный характер.



Полученные данные позволяют сделать вывод, что увеличение массивности микробного очага на покровных тканях космонавтов, установленное в последних космических полетах, могло явиться причиной повышения интенсивности выделения микроорганизмов в окружающую среду.

Как показали результаты исследований, на покровных тканях космонавтов преимущественно увеличивалось содержание лишь определенных представителей их аутомикрофлоры. В первую очередь это были стафилококки, α-гемолитические стрептококки, дифтероиды и бактерии рода Klebsiella. Этиологическая роль таких микроорганизмов, как стафилококки и α-гемолитические стрептококки, в развитии большого количества разнообразных заболеваний общеизвестна. В настоящее время остается неясной роль дифтероидов как возбудителей инфекционных заболеваний. Однако частые находки указанных микроорганизмов при ряде заболеваний (например, при остеомиелитах) (Duthie et al., 1967) заставляют усомниться в их исключительном сапрофитизме.

Особая роль в возникновении различных заболеваний отводится капсульным диплобактериям рода Klebsiella, представителями которого являются такие возбудители, как диплобацилла Фридлендера, палочки озены и склеромы (Эльберт, 1964; и др.). Диплобацилла Фридлендера способна вызывать вяло текущие и слабо проявляющиеся на фоне хорошего самочувствия пневмонии.

В условиях космических полетов различной продолжительности мы не наблюдали упрощения микрофлоры покровных тканей в том смысле, который вкладывается в это понятие американскими авторами. Основанием для такого вывода служат результаты исследований состава аутомикрофлоры космонавтов, показавших, что, помимо вышеперечисленных микроорганизмов, на их коже и в верхних дыхательных путях периодически обнаруживали и других представителей аутомикрофлоры, но количество их было невелико, в связи с чем они не имели эпидемиологического значения. Учитывая это, нам представляется более правильным отмеченные сдвиги в составе аутомикрофлоры космонавтов определять как дисбактериотические (Перетц, 1955, 1962).

Установленная в наземных экспериментах прямая зависимость между степенью изменения общего числа и состава представителей аутомикрофлоры покровных тканей людей и длительностью их пребывания в герметичном помещении была подтверждена результатами пред- и послеполетных, а также полетных исследований космонавтов. Указанное обстоятельство позволяет сделать вывод, что с увеличением длительности космических полетов выраженность сдвигов в количественном и качественном составе будет еще более возрастать. При этом будет иметь место периодическое увеличение массивности микробного очага на покровных тканях и, сле-

довательно, повышение интенсивности выведения микроорганизмов в окружающую среду.

В длительном космическом полете, по-видимому, повышение уровня микробной обсемененности покровных тканей космонавтов будет происходить за счет тех же представителей аутомикрофлоры, количество которых преимущественно возрастало во время длительного пребывания испытателей в герметичном помещении, а также в космическом полете корабля «Союз-9». Однако полученные данные позволяют предположить, что будут иметь место также и сдвиги в составе отдельных представителей аутомикрофлоры космонавтов во время их пребывания в длительно действующем космическом объекте. В первую очередь эти сдвиги, вероятно, будут наблюдаться в составе стафилококковой и стрептококковой флоры. Учитывая, что в основе этих сдвигов лежит явление селективного отбора тех особей, свойства которых позволяют им эффективно противостоять неблагоприятным факторам измененной среды обитания, есть основания предполагать, что при пребывании космонавтов в длительно действующем объекте выраженность указанного явления может возрастать за счет длительного и непрерывного действия такого фактора, как постоянный фон космической ионизирующей радиации.

Не исключено в этом случае появление сдвигов за счет длительного воздействия невесомости. На симпозиуме, проведенном в феврале 1968 г. Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства США совместно с Советом по космическим исследованиям при Национальной академии наук США, было высказано мнение, что воздействие невесомости, «подобно воздействию радиации», может способствовать появлению новых необычных изменений в живых формах».

Все вышеизложенное делает актуальной проблему разработки рекомендаций по снижению роли первой фазы механизма передачи возможных возбудителей инфекции применительно к условиям обитания человека в длительно действующем космическом объекте.

Как было показано, выраженность увеличения уровня микробной загрязненности покровных тканей человека в условиях его длительного пребывания в герметичном помещении во многом определяется массивностью микробного очага на его покровных тканях перед экспериментом, т. е. в конечном итоге особенностями аутомикрофлоры, присущими данному индивидууму. В связи с этим при комплектовании экипажей длительно действующих космических объектов необходимо обращать внимание на величину уровня микробной обсемененности покровных тканей кандидатов. Критериями для оценки степени микробной обсемененности могут быть приняты средние величины общего числа микробов, установленные для здоровых людей.

Отбор кандидатов в члены экипажей длительно действующих космических объектов должен также проводиться с учетом особенностей видового состава их аутомикрофлоры. Учитывая большое эпидемиологическое значение носительства патогенных стафилококков и $\alpha$-гемолитических стрептококков, лица, которые могут быть отнесены к категории «злостных» носителей, должны либо исключаться из числа кандидатов в члены экипажей, либо подвергаться санированию. Аналогичные требования могут быть предъявлены к носителям дрожжеподобных грибков Candida albicans. Установлено, что количество указанных микроорганизмов в верхних дыхательных путях увеличивалось у тех испытателей, у которых и до начала экспериментов эти микроорганизмы постоянно обнаруживались в полости рта и зева.



При необходимости санирования кандидатов в члены экипажей особенно осторожно следует использовать антибиотики, так как на покровных тканях человека происходит спонтанное изменение содержания резистентных к антибиотикам стафилококков. В связи с этим нам представляется совершенно недопустимым проведение перед полетом обязательной обработки верхних дыхательных путей астронавтов антибиотиками, как это рекомендуется и проводится американскими исследователями (из личного сообщения Ch. Berry). С другой стороны, полученные данные о периодическом увеличении на покровных тканях испытателей и космонавтов содержания стафилококков, устойчивых к пенициллину, левомицетину и антибиотикам тетрациклиновой группы, позволяют сделать вывод о необходимости исключения из бортовой аптечки длительно действующего космического объекта указанных антибиотиков.

Для снижения уровня микробной загрязненности покровных тканей космонавтов до величин, свойственных здоровому человеку в обычных условиях его обитания, во время их пребывания в космическом объекте необходимо проведение комплекса мероприятий. В частности, могут быть рекомендованы периодическая обработка верхних дыхательных путей космонавтов в виде полосканий полости рта и зева водными растворами веществ, обладающих антимикробным действием по отношению ко всем представителям аутомикрофлоры. Таким веществом может явиться 1—2%-ный водный раствор перекиси водорода. Использование же веществ, оказывающих преимущественное воздействие на отдельные группы представителей аутомикрофлоры (например, гексахлорафен, который эффективен только в отношении кокковой группы микроорганизмов), нежелательно, так как следствием этого может явиться преимущественное размножение других групп микроорганизмов (например, бактерий рода Klebsiella). При этом необходимо учитывать возможность привыкания бактерий к антимикробным веществам. Такая возможность доказана для гексахлорафена со стороны стафилококков, кишечной палочки (Kirchoff, 1964).

Требования аналогичного характера должны предъявляться и к веществам, рекомендуемым для использования в целях снижения уровня микробной обсемененности кожных покровов космонавтов в условиях их пребывания в длительно действующем космическом объекте.

Для поддержания уровня микробной обсемененности в пределах, свойственных здоровому человеку в обычных условиях его обитания, большое значение имеет разработка мероприятий по обеспечению личной гигиены космонавтов.

# Глава 15. РЕЗУЛЬТАТЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ВО ВРЕМЯ ПОЛЕТОВ

На космических кораблях «Союз» в 1967—1973 гг. проводили биологические исследования. Они были менее интенсивны, чем в предшествующий период, но более избирательны. Это оказалось возможным потому, что уже имелась хорошая научная основа, созданная экспериментами, проведенными на космических аппаратах «Восток», «Восход», «Зонд», «Космос», «Джемини» и «Биос». Общая цель экспериментов заключалась в изучении изменений структуры и функций некоторых биологических объектов под влиянием невесомости, ионизирующих излучений и совокупных факторов космического полета (ФКП). Принципиальная схема проведения биологических исследований на кораблях «Союз» заключалась в выявлении различий между бортовой, транспортировочной и лабораторной сериями объектов при послеполетном анализе.

При постановке опытов была сохранена известная преемственность как в отношении биологических объектов, так и методов исследований, чтобы обеспечить сопоставимость результатов с ранее полученными данными.

В экспериментах были использованы следующие биологические объекты: оплодотворенная икра лягушки, сухие семена различных видов и сортов растений, микроорганизмы — хлорелла и кишечная палочка.

В соответствии с программой биологические исследования провели при полетах кораблей «Союз-5, 9, 12».

Опыты с сухими семенами высших растений провели при полетах кораблей «Союз-5» и «Союз-9». В качестве объектов использовали семена скирды волосистой (Grepis capillaris), нескольких сортов ячменя и лука-батуна.

Задачи экспериментов с сухими семенами заключались, во-первых, в выяснении влияния ФКП, прежде всего невесомости, на состояние хромосомного аппарата клеток и начальные ростовые процессы (всхожесть, энергия прорастания); во-вторых, пытались оценить влияние ФКП на радиочувствительность и чувствительность к химическим мутагенам; в-третьих, исследовали значение ФКП в фиксации радиационных повреждений и повреждений, вызванных химическими веществами. При решении всех этих задач старались найти временну́ю динамику возникающих изменений и поэтому материал анализировали темпорально.

На борту корабля семена ячменя и лука-батуна находились в запаянных полиэтиленовых пакетах, а семена скирды волосистой — в пробирках над кристаллическим КОН, что позволяло поддерживать постоянную влажность.



Семена скирды волосистой использовали в опытах в связи с тем, что этот вид позволяет проводить цитогенетический анализ метафазным методом, при котором регистрируются практически все хромосомные и хроматидные перестройки. При работе с семенами ячменя и лука-батуна частоту ядерных нарушений учитывали при просмотре анафаз и телофаз.

После окончания полетов подопытные и контрольные семена подращивали в чашках Петри на водопроводной воде. Корешки, достигавшие определенной длины, при которой имеет место высокая частота первых митотических делений, фиксировали в смеси абсолютного спирта (3 части) и ледяной уксусной кислоты (1 часть). Затем приготовляли давленые, окрашенные по Фёльгену препараты. Одновременно учитывали всхожесть и энергию прорастания семян.

Обширный опыт со скирдой волосистой провели при пятисуточном космическом полете корабля «Союз-5» (Дубинина, Черникова, 1970). Часть материала просматривали через 6 дней после приземления, другую часть использовали для изучения хранения по срокам: 12, 20, 32, 40 и 50 дней. В сроках хранения различий по частоте перестроек между опытом и контролем не обнаружено. Сравнение суммарных данных по всем срокам хранения показывает, что различие между опытом и контролем статистически недостоверно. Ниже приведены данные о влиянии ФКП на семена скирды волосистой:

| | Опытная группа | Контроль |
|---|---|---|
| **Число** | | |
| изученных метафаз | 4771 | 1968 |
| перестроек | 32 | 7 |
| **Частота перестроек,** $\% \pm m$ | $0{,}76 \pm 0{,}13$ | $0{,}35 \pm 0{,}13$ |

$$M_{diff} \pm m_{diff} = 0{,}41 \pm 0{,}18$$

В том же полете была поставлена специальная серия опытов по воздействию этиленимина (ЭИ) на семена, испытавшие влияние ФКП, для выяснения возможного изменения их мутагенной чувствительности. Данные опыта приведены ниже:

| | Опыт + ЭИ | ЭИ |
|---|---|---|
| **Число** | | |
| изученных метафаз | 1015 | 1173 |
| клеток с перестройками | 292 | 181 |
| перестроек | 366 | 223 |
| **Частота перестроек,** $\% \pm m$ | $36{,}0 \pm 1{,}9$ | $19{,}0 \pm 1{,}2$ |
| **Число хроматидных перестроек** | 210 | 146 |
| **Хромосомные перестройки** | | |
| число | 156 | 77 |
| % | 15,4 | 6,5 |

Результаты показали повышение чувствительности к мутагенному воздействию ЭИ у тех семян, которые были в полете.

Необходимо отметить, что по всхожести и по времени прорастания семян для первых сроков фиксации различий в опытном и контрольном материале не было обнаружено. Разница была получена в опыте по хранению с дополнительной обработкой ЭИ. В этом случае прорастание се-

мян на 24—50 сутки резко упало. Среднее время прорастания для этой серии было равно 65 час. (контроль), а при применении ЭИ оно составляло 48 час.

Таким образом, в опытах с сухими семенами скирды волосистой, испытавшими действие ФКП, обнаружили незначительное, однако статистически достоверное повышение числа перестроек хромосом. Семена, испытавшие дополнительное влияние ЭИ, после воздействия на них ФКП показали повышенную мутагенную чувствительность. Спектр мутаций оказался у них сдвинутым в сторону большого количества мутаций хромосомного типа. В этом варианте опыта отмечается наличие клеток с многоударными перестройками.

ФКП не влияли на всхожесть и прорастание семян. В серии с дополнительным влиянием ЭИ и последующим хранением было обнаружено снижение прорастания и всхожести.

В том же полете были проведены исследования с воздушно-сухими семенами двурядного ячменя сорта МОС-121. Анализ анафаз и ранних телофаз в первичных корешках показал статистически достоверное (P=0,014) увеличение числа перестроек в опыте по сравнению с контролем.

| | Контроль | Опыт |
|---|---|---|
| **Общее число анафаз** | 3209 | 3524 |
| **Количество всех перестроек** | | |
| число | 87 | 140 |
| % ± m | 2,71±0,29 | 397±0,33 |
| В том числе: | | |
| **Хромосомные** | | |
| число | 24 | 24 |
| % ± m | 0,75±0,15 | 0,67±0,13 |
| **Хроматидные** | | |
| число | 26 | 31 |
| % ± m | 0,82±0,16 | 0,87±0,15 |
| **Парные фрагменты** | | |
| число | 12 | 20 |
| % ± m | 0,37±0,10 | 0,57±0,12 |
| **Одиночные фрагменты** | | |
| число | 15 | 35 |
| % ± m | 0,46±0,11 | 0,98±0,16 |
| **Многочисленные поломки хромосом и другие нарушения митоза** | | |
| число | 10 | 30 |
| % ± m | 0,31±0,09 | 0,88±0,16 |

При анализе материала не наблюдали увеличения числа перестроек хромосомного типа, как отмечалась в работах других авторов (Хвостова и др., 1963). Из данных, приведенных выше, видно, что как в опыте, так и в контроле число хромосомных и хроматидных перестроек остается практически на одном уровне. В то же время число одиночных фрагментов возросло. Увеличилось число клеток со множественными поломками хромосом и другими нарушениями митоза. В опыте значительно чаще, чем в контроле, наблюдали случаи отставания отдельных хромосом, а иногда целых групп хромосом при расхождении их к полюсам в анфазе, что создавало впечатление трехполюсности.



В контроле только в одной клетке наблюдали многочисленные поломки хромосом, тогда как в опыте число их было 18, что составляет 12,8% общего числа перестроек. Множественность перестроек в одной клетке после полетов наблюдали ранее В. В. Хвостова (1963) и другие, которые объясняли это явление повреждением хромосом одной тяжелой ионизирующей частицей.

Наряду с изменением хромосом, обнаруженным при цитогенетическом анализе, наблюдалось стимулирующее влияние ФКП на всхожесть и энергию прорастания. Так, всхожесть семян в контроле была 42,85%, а в опыте — 68,57%. Опытные семена начали прорастать значительно раньше контрольных, при этом темп роста корешков и проростков был ускорен. Корешки опытных семян достигли длины от 1 до 2 см через 45 час. после замачивания, а контрольные к 54 час.

Известно, что после воздействия ФКП на семена высших растений в одних случаях наблюдается стимулирующее, а в других — угнетающее действие, причем было отмечено, что влияние ФКП зависит от времени их воздействия. В данном случае полет продолжался 120 час., при этом наблюдали четко выраженное стимулирующее действие.

Таким образом, результаты проведенной работы показали, что воздействие ФКП на воздушно-сухие семена ячменя статистически достоверно увеличивает общее число перестроек. При этом в опыте не наблюдается преобладания перестроек хромосомного типа.

В опыте обнаружили значительное число клеток с многочисленными поломками хромосом и показали стимулирующее действие ФКП на всхожесть семян и темп роста корешков.

При полете «Союза-5» изучали совместное действие ФКП и ЭИ при прямой и обратной последовательности их применения. Кроме того, исследовали длительность сохранения эффекта, вызванного ФКП, при хранении семян.

Часть подопытных семян обрабатывали ЭИ в концентрации $2{,}3\cdot10^{-3}$ М до полета, а другую часть — после полета. Обработка семян в обоих случаях продолжалась по 3 часа с последующим 30-минутным отмыванием проточной водопроводной водой.

После возвращения семян в лабораторию подопытные и контрольные семена хранили над гранулированным КОН. Через 6, 12, 18 и 36 суток хранения семена проращивали, фиксировали и анализировали.

Как видно из данных табл. 58, наблюдается некоторое стимулирующее влияние ФКП на всхожесть семян. Если у контрольных семян всхожесть составляет 78,43%, то у подопытных семян наблюдается 100%-ное прорастание. При дальнейшем хранении семян стимулирующее действие снимается. Так, к 18 суткам всхожесть семян снижается до 77%, а к 36 суткам становится меньше, чем в контроле, и составляет только 48,90%.

Приведенные данные показывают, что стимулирующее влияние ФКП на всхожесть семян наблюдается только в первые дни после полета. Длительное хранение семян приводит к снижению их всхожести ниже контрольного уровня.

Результаты изучения действия ФКП на перестройки хромосом с учетом длительности хранений представлены в табл. 59, из которой видно,

Таблица 58. **Влияние ФКП на всхожесть семян ячменя сорта МОС-121 («Союз-5»)**

| Вариант | Время хранения, сутки | Число проращиваемых семян | Проращиваемых семян | |
|---|---|---|---|---|
| | | | число | % |
| Контроль | — | 102 | 80 | 78,43 |
| Опыт | 0 | 100 | 100 | 100,00 |
| » | 6 | 100 | 100 | 100,00 |
| » | 12 | 100 | 100 | 100,00 |
| » | 18 | 100 | 77 | 77,00 |
| » | 36 | 90 | 44 | 48,90 |

что для первых двух сроков фиксаций в корешках подопытных семян хромосомных абберации примерно в 8 раз больше, чем в контроле. При этом изменяется спектр перестроек в сторону резкого увеличения количества хромосомных мостов, парных и одиночных фрагментов.

Хранение семян опытной серии приводит к уменьшению частоты аберраций. Так, через 36 суток частота аберраций почти достигает уровня в контроле. Эти данные могут указывать на то, что потенциальные изменения, возникающие в сухих семенах ячменя во время полета, не могут существовать в метастабильном состоянии длительное время. В течение продолжительного хранения они, по-видимому, восстанавливаются репарирующими системами. В данном эксперименте после 36-суточного хранения хромосомные повреждения, индуцированные ФКП, восстановились полностью и частота аберраций (0,87±0,29%) достигла уровня мутирования в контрольной серии (0,77±0,25%). Исходя из этого, следовало ожидать, что хранение семян после полета не должно снижать их всхожести. Полученные данные свидетельствуют, однако, об обратном. Они показывают, что нарушения, приводящие к снижению всхожести семян, имеют иную природу и, вероятно, не связаны с нарушением структуры генетического материала клетки.

Совместное действие на семена ячменя ЭИ и ФКП при прямой и обратной последовательности апплицирования вызвало увеличение количества перестроек хромосом по сравнению с действием каждого из этих факторов в отдельности. Анализ количества перестроек хромосом в начале эксперимента показал, что в семенах, испытавших влияние только ФКП, их было 6,79±0,80%. При обработке семян одним ЭИ хромосомных перестроек было 4,53±0,61%. После комбинированного воздействия ЭИ и ФКП уровень мутирования составил 9,57±0,94%, а при обратной последовательности ФКП и ЭИ — 7,40±0,96%.

В табл. 60 представлены данные об изменении частоты аберраций хромосом при хранении семян летной серии. Эти результаты показывают, что обработка семян ЭИ перед полетом оказывает более сильное мутагенное действие, чем обработка после полета, что прослеживается при всех сроках хранения семян. При хранении семян наблюдается существенное изменение динамики мутационного процесса, индуцированного комбинированным влиянием ФКП и ЭИ. Предварительная обработка



Таблица 59. **Частота перестроек хромосом в семенах ячменя сорта МОС-121 («Союз-5»)**

| Вариант | Время хранения, сутки | Всего просмотренных анафаз | Аберрации | | В том числе | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | хромосомные мосты | | хроматидные мосты | | парные фрагменты | | одиночные фрагменты | | другие типы аберраций | |
| | | | число | % | число | % | число | % | число | % | число | % | число | % |
| Контроль | — | 1115 | 9 | 0,77±0,25 | 1 | 0,08 | — | — | 1 | 0,08 | 5 | 0,43 | 2 | 0,17 |
| Опыт | 0 | 1055 | 69 | 6,54±0,78 | 17 | 1,61 | 8 | 0,76 | 14 | 1,33 | 18 | 1,70 | 12 | 1,14 |
| » | 6 | 1030 | 70 | 6,79±0,80 | 24 | 2,33 | 7 | 0,68 | 5 | 0,48 | 29 | 2,82 | 5 | 0,48 |
| » | 12 | 1077 | 31 | 2,88±0,52 | 3 | 0,28 | 2 | 0,18 | 6 | 0,56 | 12 | 1,11 | 8 | 0,74 |
| » | 18 | 1023 | 5 | 0,49±0,22 | 1 | 0,10 | — | — | 1 | 0,10 | 3 | 0,29 | — | — |
| » | 36 | 1028 | 9 | 0,87±0,29 | 2 | 0,19 | — | — | 3 | 0,29 | 4 | 0,39 | — | — |

Таблица 60. **Влияние различных сроков хранения семян на аберрации хромосом, индуцированные ФКП и ЭИ, у ячменя сорта МОС-121 («Союз-5»)**

| Время хранения, сутки | Вариант опыта | Число анафаз | Аберрации | | Время хранения, сутки | Вариант опыта | Число анафаз | Аберрации | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | число | % ± m | | | | число | % ± m |
| | Контроль | 1115 | 9 | 0,77±0,25 | 18 | ФКП | 1023 | 5 | 0,49±0,22 |
| 6 | ФКП | 1030 | 70 | 6,79±0,80 | | ЭИ | 1248 | 83 | 6,65±0,73 |
| | ЭИ | 1215 | 55 | 4,53±0,61 | | ЭИ + ФКП | 1021 | 19 | 1,86±0,43 |
| | ЭИ + ФКП | 1086 | 104 | 9,57±0,94 | | ФКП + ЭИ | 1015 | 13 | 1,28±0,35 |
| | ФКП + ЭИ | 1027 | 76 | 7,40±0,96 | 36 | ФКП | 1028 | 9 | 0,87±0,29 |
| 12 | ФКП | 1077 | 31 | 2,88±0,52 | | ЭИ | 1183 | 79 | 6,68±0,75 |
| | ЭИ | 1102 | 31 | 2,81±0,50 | | ЭИ + ФКП | 1028 | 81 | 7,88±0,87 |
| | ЭИ + ФКП | 1001 | 46 | 4,60±0,67 | | ФКП + ЭИ | 2005 | 109 | 5,43∓0,52 |
| | ФКП + ЭИ | 994 | 31 | 3,11±0,56 | | | | | |

семян этиленимином значительно повышает их чувствительность к ФКП, но не влияет при этом на кинетику мутационного процесса при хранении. При обратной последовательности воздействия (ФКП+ЭИ) чувствительность семян к ЭИ также повышается. При этом более высокий процент аберраций был отмечен только в ранние сроки хранения.

Так, если в семенах, обработанных ЭИ, на 18 сутки хранения наблюдается подъем в общем уровне мутирования, то при совместном воздействии ФКП+ЭИ в этот срок хранения количество аберраций хромосом снижается. После 36 суток хранения комбинированная обработка повышает процент хромосомных аберраций.

Анализ приведенных данных показывает, что ФКП сильнее влияет на кинетику мутационного процесса при хранении семян ячменя, чем ЭИ. Изменения в уровне мутирования при хранении семян летной серии могут указывать на то, что под влиянием ФКП возникают потенциальные изменения в генетическом материале, реализующиеся позже. Возможно, что от характера этих изменений в определенной степени зависит комбинированное воздействие.

Таким образом, результаты опытов с семенами ячменя на корабле «Союз-5» показывают статистически достоверное увеличение общего количества аберраций хромосом. При этом обнаружено резкое увеличение количества аберраций хромосомного типа. ФКП оказали стимулирующее действие на прорастание семян и темп роста корешков. При хранении семян летной серии мутагенное и стимулирующее действие снимается. Количество аберраций хромосом снижается с 6,54 до 0,87%, всхожесть семян падает от 100 до 48,90%. При комбинированном действии на семена ячменя ЭИ и ФКП количество аберраций хромосом увеличивается по сравнению с действием каждого из этих факторов в отдельности. Предварительная обработка семян ЭИ перед полетом более эффективна, чем после полета.

В процессе хранения семян летной серии наблюдается существенное изменение в динамике мутационного процесса, причем ФКП влияет сильнее, чем ЭИ.

Сравнение результатов двух вышеизложенных работ, выполненных на ячмене, показывает, что они противоречат друг другу по нескольким пунктам, несмотря на то, что исследования проведены одними и теми же лицами на одном и том же материале, а условия полетов были примерно одинаковыми. Прежде всего обращают на себя внимание контрольные цифры. В контроле для первого опыта частота хромосомных перестроек составила 2,71±0,29%, в контроле для второго опыта — 0,77±0,25%.

Разница между данными контроля статистически высоко достоверна. При столь высокой изменчивости изучаемого показателя в контроле, свидетельствующей о гетерогенности материала и нестабильности условий при подготовке опыта, вычленить действие ФКП, конечно, нельзя. Ведь различие между данными контроля зачастую выше, чем различие между контрольными и опытными сериями в одном и том же полете. В связи с нестабильным контролем, видимо, появились и другие противоречия, например преобладание перестроек хромосомного типа во втором полете и отсутствие их в первом.

В опыте с семенами лука-батуна, проведенном Н. Л. Делоне, изучали уровень мутирования (процент анафаз с аберрациями) в первом ми-



Таблица 61. Результаты цитологического анализа лука-батуна

| Вариант | Всего | Анафазы | | | Митотическая активность (индекс) | Энергия прорастания (3 суток), % | Всхожесть (10 суток), % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | всего | с аберрациями | % ± m | | | |
| Контроль лабораторный | 162 | 4132 | 127 | 3,1±0,3 | 5,5 | 45,5 | 88,0 |
| Контроль транспортный | 18 | 1053 | 44 | 4,2±0,6 | 9,3 | — | — |
| Опыт | 32 | 1153 | 65 | 5,6±0,7 | 8,2 | 55,7 | 86,5 |

тозе проростков через 66—72 часа после замачивания семян. В это время длина проростков достигала 4—5 мм. Исследовали также митотическую активность, энергию прорастания на третьи сутки и всхожесть семян на десятые сутки после начала проращивания. Полученные данные приведены в табл. 61

Как видно из табл. 61, разница в уровне мутирования между лабораторным и транспортным контролем, а также опытом и транспортным контролем статистически недостоверна. Разница между опытом и лабораторным контролем — статистически достоверна.

На основании полученных данных нельзя сказать, что различие в уровнях мутирования, в митотической активности и энергии прорастания является следствием влияния ФКП. Скорее всего эти различия были вызваны условиями содержания семян.

Под руководством Н. И. Нуждина были проведены опыты с семенами ячменя на кораблях «Союз-5» и «Союз-9» (1972 г.). В экспериментах были использованы семена ячменя сорта Зимующий московский.

Опыт при полете корабля «Союз-5» имел две серии. В одной использовали необлученные семена. В другой были семена, которые перед отправкой из лаборатории подвергли воздействию гамма-лучей $^{137}Cs$ в дозе 15 кр при мощности дозы 620 р/мин. После окончания полета семена проращивали в течение 7 суток при 20—22°. Семена, вышедшие из органического покоя к указанному сроку, проросли. Этот материал образовал вариант 1. У непроросших семян удалили семенные оболочки. Половина из них была оставлена на дальнейшее проращивание (вариант 2), другую половину семян поставили на проращивание после 10-суточного хранения на воздухе при комнатной температуре (вариант 3). В этом эксперименте показателем влияния ФКП служила частота митозов с дицентрическими мостами и ацентрическими фрагментами. Результаты цитологического анализа приведены в табл. 62.

Сравнивая данные опыта с контролем, можно видеть достоверное увеличение частоты хромосомных перестроек под влиянием ФКП в необлученной серии.

При облучении семян перед экспериментом обнаружили изменения в их реакции на действие ФКП. Прежде всего обращает на себя внимание отсутствие различий между данными опыта и контроля в варианте 2. По мнению авторов, это не случайный результат, поскольку аналогичные действия они наблюдали и раньше (Нуждин, Дозорцева, 1967).

Таблица 62. **Частота аберрантных клеток в корешках опытных и контрольных семян ячменя сорта Зимующий московский («Союз-5»)**

| Вариант | Опыт | | | Контроль | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | всего клеток | абер-рантных | %±m | всего клеток | абер-рантных | %±m | $M_{diff} \pm m_{diff}$ |
| **Серия I (необлученные семена)** | | | | | | | |
| 1 | 1058 | 50 | 4,7±0,65 | 1615 | 21 | 1,3±0,28 | 3,4±0,71 |
| 2 | 1381 | 47 | 3,4±0,49 | 2807 | 37 | 1,3±0,20 | 2,1±0,51 |
| 3 | 1228 | 57 | 4,6±0,60 | 3012 | 40 | 1,3±0,20 | 3,3±0,63 |
| **Серия II (облученные семена)** | | | | | | | |
| 1 | 1138 | 448 | 39,4±1,45 | 1179 | 411 | 34,9±1,39 | 4,5±1,73 |
| 2 | 1293 | 270 | 20,9±1,13 | 3693 | 705 | 19,2±0,65 | 1,7±1,30 |
| 3 | 1455 | 520 | 35,7±1,07 | 2615 | 820 | 31,3±0,92 | 4,3±1,41 |

Данные табл. 62 указывают на то, что на фоне облучения эффективность ФКП возросла примерно в 1,5 раза в вариантах 1 и 3. В варианте 2 облучение не вызвало изменений в эффективности ФКП, хотя и в опыте, и в контроле под влиянием облучения резко возросло количество аберрантных клеток.

Полученные данные ставят вопрос о причинах различного проявления эффекта ФКП, обнаруженного на фоне облучения в трех разных вариантах. Авторы полагают, что причина этого заключается в особенностях биологической системы, которая была подвержена влиянию ФКП и облучения. Различия были вызваны ответной реакцией этой биологической системы, характеризующейся неодинаковым ее состоянием.

Семена опытного варианта представляли собой популяцию семян, одни из которых вышли из состояния органического покоя (клетки зародыша перешли в фазу $G_1$), в то время как другие находились в органическом покое (клетки зародыша в фазе $G_0$). В опытах по проращиванию было показано, что первые составляли около 5% и в эксперименте образовали вариант 1.

Семена в вариантах 2 и 3 находились в органическом покое в момент облучения и во время полета. Первые были пророщены сразу же после перехода клеток из фазы $G_0$ в фазу $G_1$. В первом митозе таких клеток реализуются поражения I класса, т. е. истинные поражения. Семена 3 варианта после перехода клеток из фазы $G_0$ в фазу $G_1$ хранились 10 суток на воздухе. За это время проходило кислородное допоражение потенциальных разрывов хромосом. В первом митозе этих клеток, согласно данным Н. И. Нуждина и Р. Л. Дозорцевой (1972), указанные потенциальные разрывы реализуются в виде поражений I, II и III классов.

Наблюдаемые различия в реализации поражений, индуцируемых ФКП и радиацией с низкой линейной потерей энергии у вариантов 1, 2, 3, определяются, таким образом, особенностью материала. В варианте 2 отсутствует «эффект взаимодействия», поэтому на фоне облучения не возрастает влияние ФКП. По-видимому, это может указывать на то, что «эффект взаимодействия» связан с реализацией потенциальных, а не истинных повреждений хромосом.



Однако возможно также, что ФКП вызывают только истинные поражения (поражения I класса), но не индуцируют потенциальные поражения. Результаты серии I (см. табл. 62) как будто бы говорят в пользу такого предположения. В пределах этой серии нет различий в проценте аберрантных клеток между вариантом 2 и вариантами 1 и 3, которые при наличии потенциальных поражений должны иметь место. Тем не менее это лишь допущение, которое противоречит результатам, полученным авторами данной работы в предыдущих исследованиях (Нуждин, Дозорцева, 1972).

При полете «Союза-9» эксперимент с семенами ячменя несколько отличался от опыта на корабле «Союз-5». Эксперимент на корабле «Союз-9» состоял из двух серий, различающихся предполетной и послеполетной обработкой семян. В серии I семена перед отправкой их из лаборатории не подвергали никакой обработке. После возвращения в лабораторию подопытные и контрольные семена намачивали в течение суток или в воде, или в нейтральном растворе солянокислого цистеина (0,15%), или в растворе аминоэтилизотиурония (АЭТ) в той же концентрации и затем просушивали. Половину просушенных семян облучали гамма-лучами $^{137}Cs$ (15 кр, 610 р/мин). Через 15 суток после облучения все семена ставили на проращивание.

В серии II семена перед полетом были намочены в воде или растворах цистеина и АЭТ указанных выше концентраций, затем высушены и одновременно с семенами I серии отправлены для проведения эксперимента. После возвращения в лабораторию половина семян была облучена гамма-лучами $^{137}Cs$ (15 кр, 610 р/мин), вторую половину семян облучению не подвергали. Через 15 суток после облучения семена проращивали. Смысл облучения, следовательно, состоял в том, чтобы изучить влияние ФКП на радиочувствительность ячменя и, кроме того, определить, повышают ли хорошо известные радиопротекторы цистеин и АЭТ резистентность семян относительно комбинированного действия ФКП и гамма-облучения.

В качестве контроля использовали семена, которые подвергали аналогичной обработке. В серии I контроль хранили в лаборатории. В серии II контроль транспортировали на космодром и обратно вместе с подопытным материалом после окончания полета.

Полученные данные подопытного и контрольного материала в двух указанных выше сериях представлены в табл. 63. Видно, что в необлученном материале как в опыте, так и в контроле различий между вариантами нет. ФКП повышают частоту аберрантных клеток на 2,7% ($P < < 0,001$). Эти результаты сходны с данными, полученными в опыте при полете корабля «Союз-5». Отсутствие различия между вариантами в опыте может указывать на то, что использованные радиопротекторы цистеин и АЭТ, снижающие частоту хромосомных аббераций, индуцированных радиацией с низкой ЛПЭ, оказались неэффективными при их использовании для защиты хромосом от поражений, вызываемых ФКП.

Анализируя результаты комбинированного действия ФКП и гамма-лучей, следует отметить проявление эффекта ФКП. За исключением двух вариантов (серия I, вариант с использованием АЭТ, и серия II, вари-

Таблица 63. **Выход аберрантных клеток в корешках опытных и контрольных семян ячменя после полета корабля «Союз-9»**

| Опыт | | | | Контроль | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| вариант | просмотрено клеток | | | вариант | просмотрено клеток | | | |
| | всего | абер-рантных | % ± m | | всего | абер-рантных | % ± m | $M_{diff} \pm m_{diff}$ |
| **Необлученные семена (серия I)** | | | | | | | | |
| **Вода** | 1162 | 56 | 4,8±0,55 | **Вода** | 1181 | 25 | 2,1±0,41 | 2,7±0,69 |
| **Цистеин** | 1132 | 52 | 4,7±0,61 | **Цистеин** | 1257 | 28 | 2,2±0,40 | 2,5±0,73 |
| **АЭТ** | 1117 | 49 | 4,4±0,62 | **АЭТ** | 1246 | 27 | 2,0±0,40 | 2,4±0,73 |
| **Серия II** | | | | | | | | |
| **Вода** | 1170 | 64 | 5,3±0,63 | **Вода** | 1321 | 40 | 3,0±0,47 | 2,3±0,79 |
| **Цистеин** | 1328 | 73 | 5,4±0,38 | **Цистеин** | 1136 | 33 | 2,9±0,51 | 2,5±0,63 |
| **АЭТ** | 1267 | 73 | 5,7±0,65 | **АЭТ** | 1120 | 34 | 3,0±0,51 | 2,7±0,82 |
| **Облученные семена (серия I)** | | | | | | | | |
| **Вода** | 1403 | 390 | 27,6±1,19 | **Вода** | 1252 | 295 | 23,5±1,21 | 4,1±1,37 |
| **Цистеин** | 1306 | 273 | 20,9±1,30 | **Цистеин** | 1222 | 215 | 17,5±1,07 | 3,4±1,68 |
| **АЭТ** | 1490 | 284 | 19,0±1,00 | **АЭТ** | 1185 | 212 | 17,8±1,11 | 1,2±1,49 |
| **Серия II** | | | | | | | | |
| **Вода** | 1227 | 346 | 28,0±1,28 | **Вода** | 1526 | 333 | 21,8±1,05 | 6,2±1,59 |
| **Цистеин** | 813 | 171 | 21,0±1,43 | **Цистеин** | 1100 | 194 | 17,6±1,15 | 3,4±1,77 |
| **АЭТ** | 1268 | 303 | 23,8±1,19 | **АЭТ** | 1125 | 174 | 15,4±1,07 | 8,4±1,58 |

ант с использованием цистеина) различия в частоте аберрантных клеток в опытах и соответствующих контролях статистически достоверны. В пределах подопытной группы и контроля четко проявляется защитное действие изученных протекторов. Однако это не означает, что эффект защиты распространяется и на хромосомные поражения, индуцированные ФКП, и особенно на ту их часть, которая возрастает при взаимодействии ФКП и гамма-облучения.

Анализ этих данных показывает, что на фоне облучения влияние ФКП возрастает. Действие протекторов распространяется, видимо, только на поражения, индуцируемые гамма-лучами. Защита от поражений, вызванных гамма-лучами, достигает 6,4% (контроль 2, действие АЭТ), а защита от поражений, индуцированных и радиацией и ФКП, достигает 8,6% (серия I, действие АЭТ). Эффект защиты в обоих случаях примерно одинаков. Это может указывать на то, что при комбинированном воздействии радиопротекторы защищают только те повреждения, которые вызваны радиацией, и не действуют на хромосомные поражения, индуцированные ФКП.



Материалы исследований с семенами ячменя указывают на существование двух видов ответной реакции при комбинированном воздействии гамма-облучения и ФКП, а также на отсутствие химической защиты хромосом как от одиночного влияния ФКП, так и от совместного с радиацией. Определяющим при этом является физиологическое состояние материала. У семян, которые были подвергнуты действию ФКП и облучению в состоянии органического покоя (клетки зародыша в фазе $G_0$), обнаружен аддитивный эффект. Однако если семена находились в состоянии вынужденного покоя (клетки зародыша в фазе $G_1$), то действие этих факторов было синергичным. Похожее явление наблюдали Л. Г. Дубинина и О. П. Черникова (1970) при комбинированном воздействии ЭИ и ФКП на семена скирды волосистой.

Таким образом, при изучении хромосомных мутаций в семенах высших растений была выявлена изменчивость эффекта ФКП при сочетании с физическими и химическими мутагенными факторами.

Механизм этого явления имеет общебиологическое значение, так как он касается фундаментальной проблемы — индуцированного мутагенеза. Исследования в этой области должны быть направлены на выяснение причин аддитивного и синергичного действия ФКП в сочетании с физико-химическими факторами. Представляет интерес установление конкретных факторов, которые во время космического полета вызывают нарушение структурной организации хромосом в воздушно-сухих семенах растений. По-видимому, значение космической радиации в этих нарушениях очень мало или вообще отсутствует, так как интегральная доза радиации при полетах кораблей «Союз-5» и «Союз-9» составила 31 и 32 мрада соответственно при средней мощности дозы 10 мрад/сутки (Воробьев, Гецелев, Григорьев, 1969; Воробьев, Егоров и др., 1970). Такие дозы не могут быть причиной поражений генетических структур (даже потенциальных), так как в лабораторных условиях не удается обнаружить воздействия на семена ионизирующих излучений в дозах, превышающих указанные в десятки и сотни раз.

Есть серьезные основания считать, что при космических полетах фактором, вызывающим повышение частоты хромосомных мутаций в сухих семенах, является температура (Шестопалова и др., 1971). Выяснение действия, вызываемого химическими и физическими мутагенами в широком диапазоне температур, заслуживает детального количественного изучения. Мы полагаем, что ключ к объяснению всех эффектов, полученных на сухих семенах в опытах при космических полетах, будет найден в ходе этих исследований. Пока нельзя полностью исключить возможность сложных взаимодействий физико-химических мутагенов с невесомостью. Однако суммарные результаты исследований, полученные на космическом аппарате «Биос-2», показали, что такое взаимодействие неуниверсально и мало вероятно для покоящихся клеток [47].

Опыты с микроорганизмами провели при полетах кораблей «Союз-5» и «Союз-12». Для исследования использовали хлореллу и разные штаммы кишечной палочки.

Существует ряд проблем, связанных с влиянием ФКП на субклеточном и клеточном уровнях. Для их исследования наиболее приемлемы одноклеточные микроорганизмы, поскольку они относительно просто организованы и их жизнедеятельность не осложняется регуляторными воз-

действиями со стороны других тканей, как это имеет место у многоклеточных.

Задачи экспериментов при использовании микроорганизмов заключались в изучении влияния ФКП на их выживаемость, деление и размножение, возникновение наследственных изменений, элементарные биологические процессы, такие, как репарация и рекомбинация, на взаимодействие субклеточных структур.

При полете корабля «Союз-5» был проведен эксперимент с культурой клеток хлореллы (Аникеева и др., 1971). В опыте использовали штамм ЛАРГ-1 Chlorella vulgaris Beyer. Методом микроколоний анализировали выживаемость и процент гибели клеток на разных этапах развития, динамику и характер спорулирования их. Частоту возникновения видимых мутаций определяли методом макроколоний. В работе учитывали пигментные, крапчатые, морфологические и карликовые мутанты.

Перед полетом культуру предварительно подращивали в жидкой среде Тамийя в условиях круглосуточного освещения, затем проводили ее синхронизацию методом центрифугирования. Обычно таким способом удается получить культуру, состоящую на 95—97% из молодых клеток на предсинтетической стадии клеточного цикла. Полученную культуру высевали на агаризованную среду Тамийя в пластмассовые контейнеры. Последние помещали в пакеты из черной бумаги для того, чтобы исключить освещение хлореллы. В таком состоянии культуры хранили до конца эксперимента. Контрольные варианты находились в лаборатории при 20—22°. Летные варианты при транспортировке из лаборатории и обратно находились в условиях неконтролируемых температур. Поэтому культуры клеток могли испытывать действие разных температур, в том числе и минусовых. Опыт и контроль были представлены в двух повторностях. Полученные экспериментальные данные в обеих повторностях оказались практически одинаковыми. После окончания полета хлорелла была доставлена в лабораторию для исследований. Прежде всего клетки были смыты с твердой среды стерильной водой и затем высеяны в чашки Петри на агаризованную среду Тамийя. Выращивание культур проводили при круглосуточном освещении при температуре 27—29°.

Изучение характера развития клеток показало, что ФКП не повлияли на развитие и на среднее число автоспор при делении материнской клетки. Данные этих тестов приведены ниже.

| | Контроль | Опыт |
|---|---|---|
| **Количество** | | |
| просмотренных клеток | 468 | 360 |
| автоспор, % ± m | 8,05±1,26 | 8,05±1,43 |
| неэквивалентных споруляций, % ± m | 3,15±0,81 | 5,75±1,23 |
| с ненормальным числом автоспор, % ± m | 2015±0,63 | 3,45±0,96 |

Результаты показывают, однако, что в летном варианте наблюдается некоторая тенденция к увеличению процента клеток, которые образуют при спорулировании неэквивалентные автоспоры (т. е. различающиеся по размеру) или ненормальное число автоспор (3, 5, 7, 9 и т. д. вместо 4, 8, 16). Определенное количество подобных клеток встречается, как



правило, и в контроле, однако в неблагоприятных условиях их количество становится значительно больше.

Ниже представлены данные, характеризующие выживаемость клеток и их гибель на разных стадиях развития:

| | Контроль | Опыт |
|---|---|---|
| **Число просмотренных клеток** | 1151 | 1855 |
| **Гибель клеток, % ± m** | | |
| мелких | 20,30±2,18 | 61,75±1,13 |
| крупных | 0,52±0,21 | 1,08±0,34 |
| при первой споруляции | 0,35±0,17 | 0,43±0,15 |
| при второй споруляции | 0,09±0,09 | 0,27±0,12 |
| **Выживаемость клеток, % ± m** | 78,54±1,21 | 36,33±1,12 |

Они показывают, что в летном варианте выживаемость хлореллы понизилась. Понижение произошло в основном за счет гибели мелких клеток. Гибель клеток на более поздних стадиях развития, вызываемая генетическими причинами, имеет тенденцию к увеличению в летном варианте по сравнению с контролем. В подопытном материале наблюдается статистически достоверное повышение частоты видимых мутаций. Отмечено повышение всех учитывавшихся классов мутаций, однако статистически достоверно увеличилось лишь количество пигментных и крапчатых мутантов.

| | Контроль | Опыт |
|---|---|---|
| **Число просмотренных клеток** | 15383 | 6977 |
| **Количество мутантов, % ± m** | | |
| зеленый карлик | 0,03±0,01 | 0,11±0,04 |
| светлый карлик | 0,07±0,02 | 0,11±0,04 |
| пигментные | 0,15±0,03 | 0,43±0,08 |
| крапчатые | 0,19±0,03 | 0,56±0,09 |
| морфологические | 0,007±0,002 | 0,014±0,014 |
| сумма | 0,45±0,05 | 1,23±0,13 |

Авторы считают, что причиной обнаруженных нарушений являются не ФКП. Такое заключение основано на том, что в предыдущих исследованиях с хлореллой при космических полетах длительностью до 8 суток по околоземным орбитам при «спокойной» радиационной обстановке подобных нарушений не обнаружено. Лабораторные эксперименты показали, что изменения у хлореллы, обнаруженные после полета на корабле «Союз-5», вызваны, вероятнее всего, не факторами полета, а условиями, не имеющими к полету отношения.

До старта корабля «Союз-5» культуру хлореллы содержали на агаризованной минимальной среде в темноте в течение 1,5 месяца при неконтролируемой температуре. Контроль же содержали все это время в лаборатории при 20—23°. Кроме того, подопытная культура хлореллы могла испытать влияние разных температур, включая и минусовые, при транспортировке с места приземления. Чтобы выяснить влияние температуры, поставили серию опытов, в которых хлореллу содержали длительное время в диапазоне температур от 0 до 25°. Двухмесячное хранение клеток хлореллы в темноте на минимальной среде при температуре 25°, а также при колебаниях температуры (20 суток при 25°, затем 10 суток при 0°,

6 суток при 25°, 2 суток при 21°, 10 суток при 25°) не вызвало изменений в динамике развития клеток и характере автоспорообразования. Хранение клеток при 25°, кроме того, не повлияло на выживаемость и мутабильность культуры. Однако колебания температуры понизили жизнеспособность хлореллы и заметно повысили ее мутабильность. Таким образом, эти результаты позволяют отнести нарушения выживаемости и мутабильности в летной культуре хлореллы не за счет специфических ФКП, а за счет температуры содержания.

Эти данные подтверждают результаты ранее проведенных опытов, которые показали, что ФКП не обладают мутагенным действием в отношении микроорганизмов in vitro (Жуков-Вережников и др., 1971; Лукин, Парфенов, 1971). В эксперименте при полете корабля «Союз-9» был сделан аналогичный вывод (Залогуев и др., 1970). В опыте изучали антибиотикоустойчивость стафилококков, выделенных с различных участков кожи космонавтов А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова до и после полета. В качестве антибиотиков использовали пенициллин, стрептомицин, левомицетин, тетрациклин, эритромицин и мономицин. Результаты исследования устойчивости к пенициллину, левомицетину и тетрациклину представлены в табл. 57 (стр. 346). Количество стафилококков, устойчивых к стрептомицину, эритромицину и мономицину, до и после полета было одинаковым.

Как видно из данных табл. 57, в день посадки корабля «Союз-9» было отмечено увеличение по сравнению с предполетными обследованиями количества стафилококков, которые обладали устойчивостью к пенициллину и левомицетину у В. И. Севастьянова и устойчивостью к тетрациклину у А. Г. Николаева. Изменения в антибиотикоустойчивости стафилококков вызываются не действием ФКП. Они характерны для микрофлоры человека при длительном пребывании людей в ограниченных, закрытых помещениях.

Эти результаты согласуются с данными микробиологических исследований, проведенных на пилотируемых космических аппаратах серии «Аполлон». При анализе естественной микрофлоры обитаемых кабин кораблей «Аполлон-7, 8, 9, 10, 11» и их экипажей было установлено, что микроорганизмы, взятые с разных мест кабин и с поверхности тела космонавтов, а также выделенные из отходов их жизнедеятельности, не отличаются от микроорганизмов контрольных серий по морфологическим и физиологическим признакам (Berry, 1970).

Кишечная палочка продолжала оставаться важным объектом исследования в биологических опытах на кораблях «Союз».

В проводившемся под руководством Н. Н. Жукова-Вережникова эксперименте при полете корабля «Союз-5» использовали лизогенный штамм E. coli K-12 $(\lambda)^+$. Этот штамм входил в свое время в состав объектов, используемых для биологической дозиметрии ФКП. Его применение основано на том, что трансформационно-генетический тест (индукция фагообразования) обладает высокой радиочувствительностью. Накопленные данные показывают, что этот тест может дать представления об интенсивности воздействия ФКП, хотя строгой корреляции дозы и эффекта не наблюдается (Жуков-Вережников и др., 1971).

В эксперименте использовали 5-часовую бульонную культуру кишечной палочки. Перед опытом культуру разводили в «голодном» бульоне (мясопептонный бульон, разведенный 1 : 10 дистиллированной водой) с таким расчетом, чтобы в 1 мл было 1—5·$10^7$ бактерий. По 1 мл такой культуры вносили в стеклянные ампулы и запаивали. В некоторые ампулы вносили химические радиопротекторы: финам, цистамин и серотонин в концентрации 0,001 М. Треть ампул хранили в лаборатории. Треть транспортировали на космодром и обратно в лабораторию, и треть поместили на корабле «Союз-5». После окончания полета у бактерий всех трех серий определяли количество жизнеспособных клеток и индуцированных фагочастиц. В работе использовали методы, принципиально не отличавшиеся от описанных ранее (Жуков-Вережников и др., 1971). Индуцирующее влияние ФКП определяли, сравнивая удельные фагопродукции в летной и контрольной сериях. Протекторные свойства химических препаратов определяли по степени снижения количества бактериофагов в сериях с радиопротекторами по отношению к количеству фагов в сериях без протекторов.



Полученные данные подтвердили уже имеющиеся результаты Н. Н. Жукова-Вережникова и его сотрудников. В культуре без радиопротекторов уровень индуцированной фагопродукции в 2,5 раза превышал спонтанный фон в контроле. Такая величина индукции в лабораторных условиях наблюдается при облучении бактерий гамма-лучами $^{60}$Co в дозе 0,8 р и мощности дозы 4 рад/сутки. Интегральная же доза космической радиации, зарегистрированная при полете корабля «Союз-5», была значительно меньше и составляла всего 32 мрада при средней мощности 10 мрад/сутки. Поэтому обнаруженное увеличение фагопродукции лизогенных бактерий нельзя отнести за счет только космической радиации. Во всех культурах с радиопротекторами различий в фагопродукции летных и контрольных серий бактерий не было обнаружено.

Объясняя увеличение фагопродукции в летных вариантах эксперимента без радиопротекторов, авторы высказывают предположение, что индуцирующее влияние при космическом полете обусловлено комбинированным действием невесомости и радиации. Это заключение не соответствует данным Маттони и соавт. (Mattoni et al., 1968), которые провели эксперимент с лизогенными бактериями при полете «Биос-2» и показали, что невесомость не влияет ни на спонтанную фагопродукцию, ни на индуцированную во время полета гамма-облучением в дозах 265, 645 и 1630 рад.

Математические расчеты Полларда (Pollord, 1965) и Кондо (Kondo, 1968) показывают, что невесомость не может существенно влиять на процессы на молекулярном или субклеточном уровне бактериальной клетки. Это следует из того, что тепловая энергия бактериальной хромосомы, возникающая в результате броуновского движения, превышает на два порядка величины потенциальную энергию хромосомы, получаемую под действием силы тяжести на Земле (Kondo, 1968).

Данные молекулярной биологии и генетики показывают, что регуляторные механизмы, ответственные за фагопродукцию лизогенных бактерий, связаны с взаимодействием молекул репрессорного белка и ДНК. Так, установлено, что репрессором профага $\lambda$ является белок с молекулярным весом 30 000 (Ptashne, 1967). Он функционирует на уровне транскрипции ДНК профага и репрессирует синтез его информационной РНК (Echols et al., 1968).

Таким образом, фагопродукция бактерий определяется молекулярным механизмом, на который невесомость не должна влиять. Она не должна влиять и на дезинтеграцию полового фактора из хромосомы, потому что дезинтеграция — ферментативный процесс, контролирующий разрыв и воссоединение хромосомы (Campbel, 1962).

Отмеченные несоответствия между экспериментальными данными Н. Н. Жукова-Вережникова с сотрудниками, с одной стороны (Жуков-Вережников и др., 1971), а также результатами Маттони (Mattoni, 1968) и математическими расчетами Кондо (Kondo, 1968) и Полларда (Pollord, 1965), с другой, указывают на необходимость проведения проверочных исследований.

В связи с этим был поставлен микробиологический эксперимент при полете корабля «Союз-12», задачи которого состояли в изучении влияния невесомости на размножение кишечной палочки, ее мутабильность, фагопродукцию, генетическую рекомбинацию и репарацию.

В исследовании использовали восемь различных штаммов. Селекцию мутантов проводили по признаку устойчивости к вирулентному фагу. Мутанты отличаются от родительских штаммов тем, что не адсорбируют собственные фаги. Это позволяет проводить точный количественный учет свободных фаговых частиц, выделяющихся при лизисе бактерий в жидкую питательную среду. При использовании исходных штаммов часть фагов адсорбируется на бактериальных клетках и инактивируется.

Питательные среды и реактивы: мясо-пептонный бульон (МПБ); мясо-пептонный агар (МПА) — 0,12, 0,6 и 1,5%; синтетическая среда М-9 (в г/л: $KH_2PO_4$—3,$Na_2HPO_4$—7,$NH_4Cl$ — 5,NaCl — 0,5,$MgSO_4$—0,1, глюкоза — 2, тиамин — 10 мг/л). Раствор этих солей без глюкозы и тиамина использовали как бактериальный и фаговый буфер. Стрептомицин-сульфат — 200 мкг/мл, акридин оранжевый — 50 мкг/мл; аминокислоты добавляли в среду в концентрации 50 мг/л, тимин — в концентрации 10 мг/л.

О действии невесомости судили по количеству жизнеспособных бактерий, количеству свободных бактериофагов, частоте стрептомицинустойчивых, ауксотрофных и прототрофных мутантов, а также по дезинтеграции полового фактора. Жизнеспособные клетки определяли подсчетом колоний на МПА; свободный бактериофаг учитывали по количеству фаговых бляшек на бактериальном газоне со стрептомицином (Bertrany, 1951); ауксотрофные мутации определяли методом замедленного обогащения (Lederberg, 1950); обратные мутации — высевом бактерий на агаризованную сразу М-9; дезинтеграцию полового фактора определяли методом с использованием акридина оранжевого (Hirota, 1960). Скрещивание бактерий проводили на твердой среде М-9 методом реплик (Lederberg, Lederberg, 1952). Выращивание бактерий осуществляли при 37°.

На борту корабля «Союз-12» бактерии выращивали в полужидком 0,12%-ном МПА в культиваторе микроорганизмов (КМ) и в фиксаторе для культуры тканей (ФКТ). Полужидкая среда, использованная впервые для микробиологических исследований при полете «Джемини-11» (Serres de, Smith, 1970), существенно снижает седиментацию бактерий в контрольных сериях. Это позволяет сравнивать данные опыта и контроля практически без учета эффекта седиментации.



КМ представляет собой девять последовательно соединенных сосудов объемом 5 мл каждый, изготовленных из биологически инертного полиэтилена высокого давления. Прибор стерилизуют гамма-облучением. Перед опытом сосуды КМ заполняют жидкой или полужидкой питательной средой и проверяют их стерильность. После этого сообщение между сосудами перекрывают при помощи пережимных устройств и в определенные сосуды КМ вносят шприцем суспензию бактерий. Через необходимые промежутки времени делают пересевы. Для этого открывается сообщение между сосудами. Пересев происходит в результате активного движения бактерий в свежую питательную среду, в основе которого лежат хемотаксические реакции (Keller, Segel, 1971).

Для проведения исследований в полете КМ помещают в металлический контейнер размером 70×80×120 мм. Прибор ФКТ представляет собой блок из пенопласта с 10 гнездами, в которые помещаются стеклянные пробирки объемом 12 мл каждая (внешний диаметр пробирки 15 мм, высота — 11 мм). После заполнения питательной средой пробирки закрывают резиновыми пробками, через которые вставляются шприц-тюбики объемом 1,5 мл. Шприц-тюбик состоит из шприца с резьбовым держателем и тюбика с ответным резьбовым концом. Перед опытом в тюбик вносят бактериальную суспензию и вставляют его конец с резьбой в держатель шприца.

Для посева бактерий необходимо довернуть тюбик по резьбе до отказа и выдавить его содержимое в среду. Блок с пробирками помещается в металлический контейнер размером 195×155×65 мм. За 48 час. до старта приборы КМ и ФКТ были заполнены 0,12%-ным МПА и проверены на стерильность. За 12 час. до старта были приготовлены в буфере бактериальные суспензии из суточных культур, выращенных на 1,5%-ном МПА. Лизогенные штаммы были внесены во второй и седьмой сосуды КМ соответственно в концентрации около 1000 клеток на 1 мл среды. В девятый сосуд внесли фаг λ в концентрации $3{,}1 \cdot 10^8$ фагов в 1 мл (схема 6). Чистый фаг использовали для изучения сравнительного влияния транспортировки и полета на его инактивацию.

Установлено, что в летной и транспортировочной сериях количество фагов в 1 мл оказалось равным соответственно 1,6 и $1{,}5 \cdot 10^8$. Тем самым было установлено, что невесомость не инактивирует фаг, и вследствие этого удельная фагопродукция лизогенных бактерий (количество фагов на 1 клетку) меняться не может.

В пробирки прибора ФКТ вставили шприц-тюбики с бактериальными культурами штаммов с нарушенными системами рекомбинаций и репараций. По одной пробирке использовали для лизогенных бактерий и по две пробирки — для нормальных штаммов. После этого приборы содержали при +4°. За 3 часа до старта они были установлены на борту корабля «Союз-12». Контрольные приборы содержали при комнатной температуре (20±2°).

Полет корабля «Союз-12» продолжался 44 часа. Средняя температура в опыте была 19,56°, минимальная — 17,85, максимальная — 22,9°. Через 9 час. после старта О. Г. Макаров провел пересевы бактерий в КМ и ФКТ, еще через 30 мин. эти операции были проделаны с контрольными приборами. После окончания эксперимента приборы транспортировались в лабораторию авиа- и автотранспортом в пассажирском отсеке. 30. IX 1973 г.

**Схема 6. Пересевы бактерий в приборе культиватора микроорганизмов**

*I* — сосуды, засеянные перед стартом; *II* — сосуды, в которых бактерии не были обнаружены; *III* — сосуды, в которых бактерии были обнаружены. Линии показывают места кнопок, постоянно находившихся в положении «закрыто»

в 22 часа приборы были поставлены в холодильник (+4°). Контрольные приборы поместили в холодильник в 20 час.

При внешнем осмотре приборов никаких заметных повреждений не обнаружили. Кнопки КМ № 1, 2, 3, 5, 6, 7 были в положении «открыто», а № 4 и 8 — «закрыто», что соответствовало инструкции. Все шприц-тюбики в ФКТ были довернуты до отказа, во всех тюбиках находилась питательная среда. Это свидетельствовало о том, что посев бактерий произошел в каждой из 10 пробирок.

Прежде чем обсуждать результаты, необходимо отметить, что бактерии штамма $F^-$ не попали из сосуда 2 в соседние сосуды 1 и 3 в летном КМ, но были обнаружены в контрольном приборе. В последнем не произошел пересев в более отдаленном сосуде 4. Пересев бактерий донорного штамма из сосуда 7 в опыте и контроле произошел только в соседние сосуды 6 и 8, в сосудах 5 бактерий не было. Следовательно, пересев в эти сосуды также не произошел (см. схему 6).

Отсутствие бактерий в сосудах 4 и 5 опыта и контроля объясняется кратковременностью эксперимента. В лабораторных опытах пересев бактерий в три последовательных сосуда при 20° происходит обычно за 6 суток. Отсутствие бактерий в сосудах 1 и 3 в опыте, по-видимому, можно объяснить образованием в невесомости крупных газовых полостей, закупоривших соединительные трубки. Переход бактерий через газовые полости при хемотаксических движениях требует более длительного времени.

Определение количества жизнеспособных клеток (см. табл. 64 на стр. 370) показало, что как в условиях невесомости, так и на Земле лизогенные бактерии размножались нормально и образовали от $5 \cdot 10^8$ до $7 \cdot 10^8$ клеток в 1 мл. Различий в количестве клеток между опытом и контролем не было обнаружено в сосудах 2, 7 и 8. В сосуде 6 клеток в контроле оказалось несколько больше, чем в опыте. Это, надо полагать, связано с ошибкой метода серийных разведений, для которого различие меньше чем вдвое допустимо.

Полученные данные позволяют утверждать, что невесомость не влияет на размножение бактерий. К аналогичному выводу пришли еще в 1961 г. Н. Н. Жуков-Вережников с сотр. (1961) и позже Маттони с сотр. (Mattoni, 1968).



Экспериментальные данные показывают, что разницы в количестве свободных фагов в сосудах 6 и 7 между опытом и контролем нет. В сосуде 2 фагов было больше в опыте, а в сосуде 8 больше в контроле. Удельная фагопродукция оказалась выше в опыте в сосудах 2, 6 и 7, но ниже в сосуде 8.

Данные табл. 64 показывают, что в трех случаях из четырех различия по всем показателям оказались в пользу опыта, в одном случае — в пользу контроля, причем по удельной фагопродукции при более высоком уровне значимости. Обращают на себя внимание также большие различия всех данных в пределах как контроля, так и опыта. Величины этой вариабельности зачастую более значительны, чем различия между опытом и контролем. Если сравнить все опыты между собой, то, например, для жизнеспособных клеток статистически достоверные различия отличны для всех сравниваемых пар. Дело заключается в том, что получение результатов связано с применением методики серийных разведений, которая не годится для установления количественной зависимости между величиной изменения и интенсивностью воздействия при существующих критериях выбора уровня значимости. Конечно, при применении более высоких критериев можно применять эту методику, но тогда нужно признать, что различия между результатами Н. Н. Жукова-Вережникова с сотр. (1971), Маттони (Mattoni, 1968) и нашими данными являются мнимыми и зависят от низкой разрешающей силы применявшихся методов исследования. Такой подход позволяет сделать два следующих заключения: во-первых, данные Н. Н. Жукова-Вережникова с сотрудниками (1965, 1971), Маттони (Mattoni, 1968) и наши данные, изложенные здесь, сходны; во-вторых, факторы космического полета, в частности невесомость, не влияют на жизнеспособность бактериальных клеток и удельную фагопродукцию. Сделанные выводы подтверждают данные, полученные в эксперименте с ФКТ (табл. 65). Бактерии обоих штаммов образовали одинаковое (с учетом ошибок) количество как жизнеспособных клеток, так и свободных фагов в контроле и опыте. Удельная фагопродукция в обоих случаях была выше в контроле при уровне значимости 99%. По соображениям, которые изложены выше, обнаруженные различия следует признать зависимыми от методики анализа.

В табл. 66 представлены данные о количестве жизнеспособных бактерий разных штаммов и количестве прототрофных и стрептомицинустойчивых мутантов. Очевидно, что невесомость не повлияла ни на размножение, ни на мутагенез нормальных бактерий и бактерий с нарушенными системами рекомбинации и репарации генетических структур. Аналогичные данные получены для этих и лизогенных бактерий в ауксотрофных мутациях. Ни в одном случае ауксотрофные мутанты не обнаружены. Невесомость, таким образом, не влияет на спонтанный мутационный процесс у бактерий, какими бы механизмами он ни определялся.

Такое заключение согласуется с данными Н. Н. Жукова-Вережникова с сотр. (1961) и результатами исследований, проведенных с кишечной палочкой (Лукин, Парфенов, 1971) и дрожжами (Корогодин и др., 1971) при полете «Космос-368», а также с хлореллой в опытах на аппаратах «Зонд-5, 6, 7» (Ваулина и др., 1971) и корабле «Союз-5» (Аникеева,

Таблица 64. **Фагопродукция лизогенных бактерий, размножавшихся в приборе КМ**

| Штамм E. coli K-12 | | Номер сосуда КМ | Жизнеспособные клетки мл × ($10^7$) M±m | $M_{diff} \pm m_{diff}$ | Свободный фаг мл × ($10^3$) M ± m | $M_{diff} \pm m_{diff}$ | Удельная фагопродукция (×$10^{-4}$) * | Уровень значимости различий по удельной фагопродукции **, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F⁻ | Контроль | 2 | 69,63±1,76 | 10,43±7,46 | 217,50±6,36 | —19,9±6,96 0,01 > P > 0,001 | 3,12 | 90 |
| | Опыт | | 59,20±7,26 | | 237,40±2,86 | | 4,01 | |
| | Контроль | 6 | 69,75±4,66 | 15,62±5,72 0,01 > P > 0,001 | 121,78±15,59 | —6,97±15,96 | 1,77 | 90 |
| | Опыт | | 53,13±3,29 | | 128,75±3,86 | | 2,46 | |
| | Контроль | 7 | 74,38±2,83 | 6,98±4,28 | 422,13±5,43 | —3,87±5,73 | 5,67 | 90 |
| | Опыт | | 67,40±3,22 | | 426,00±1,86 | | 6,32 | |
| | Контроль | 8 | 68,60±1,72 | —2,80±5,62 | 141,80±4,42 | 28,60±7,05 P < 0,001 | 2,06 | 99 |
| | Опыт | | 71,40±5,37 | | 113,20±5,49 | | 1,56 | |

* Удельная фагопродукция — фагопродукция одной бактериальной клетки. Она определяется из отношения количества свободного фага к количеству жизнеспособных клеток.

** Уровень значимости был определен с использованием критерия Стьюдента, обобщенного по функции многих переменных (Худсон, 1970).



Таблица 65. **Фагопродукция лизогенных бактерий, размножавшихся в приборе ФКТ**

| Штамм E. coli K-12 | Вариант | Жизнеспособные клетки, мл·$10^6$ M ± m | $M_{diff} \pm m_{diff}$ | Свободный фаг, мл·$10^2$ M ± m | $M_{diff} \pm m_{diff}$ | Удельная фагопродукция (·$10^{-4}$) | Уровень значимости, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F⁻ | Контроль | 194,84±5,81 | 62,53±42,13 | 280,75±15,97 | —41,41±59,71 | 1,44 | 99 |
| | Опыт | 257,40±41,73 | | 239,33±55,09 | | 0,93 | |
| Hfr C | Контроль | 197,50±8,56 | 66,6±58,79 | 756,33±108,13 | —87,14±154,59 | 3,83 | 99 |
| | Опыт | 264,10±58,18 | | 669,19±139,55 | | 2,53 | |

Таблица 66. **Спонтанный мутагенез кишечной палочки, размножавшейся в приборе ФКТ**

| Штамм бактерий | Вариант | Жизнеспособные бактерии, мл (x5·$10^5$) M ± m | $M_{diff} \pm m_{diff}$ | Количество мутантов, мл | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Thr⁺ | Leu⁺ | Arg⁺ | Pro⁺ | His⁺ |
| АБ1157 rec⁺ | Контроль | 220,50±8,72 | —5,84±13,09 | 1,60±1,52 | 1,75±1,72 | 0,86±1,15 | 1,05±1,22 | 1,40±1,47 |
| | Опыт | 214,66±9,77 | | 1,80±1,77 | 1,80±1,84 | 1,32±1,69 | 1,65±2,03 | 1,05±1,13 |
| АБ2463 rec⁻ | Контроль | 196,83±13,59 | 1,33±17,59 | 1,80±1,72 | 1,65±1,75 | 1,35±1,23 | 1,80±2,05 | 1,36±1,52 |
| | Опыт | 198,16±11,18 | | 2,20±1,84 | 1,75±1,99 | 1,40±1,49 | 1,85±2,06 | 1,18±1,22 |
| | | | | Thy⁺ | Str-r | | | |
| W3110 pol⁺ | Контроль | 156,83±12,05 | 10,00±23,12 | 0,44±0,76 | 1,15±1,39 | — | — | — |
| | Опыт | 166,83±19,73 | | 0,65±0,97 | 1,04±1,40 | — | — | — |
| P3478 pol⁻ | Контроль | 175,83±7,95 | 2,67±15,08 | 0,75±0,70 | 1,30±1,35 | — | — | — |
| | Опыт | 178,50±12,81 | | 1,03±1,43 | 0,87±1,59 | — | — | — |

Ваулина, 1971). Отсутствие различий в мутагенезе между нормальными штаммами бактерий и их мутантами с нарушенными системами рекомбинации и репарации показывает, что невесомость не влияет на рекомбинационные и репарационные процессы бактерий. Этого следовало ожидать, потому что процессы рекомбинации и репарации обеспечивают стабильность генетического материала и определяют темп мутирования. Изменений в процессах генетической рекомбинации не наблюдал Борстел с сотр. (Borstel et al., 1971) в опыте с дрожжами на орбитальной станции «Биос-2».

Относительно репарационных процессов данные противоречивы. Так, например, Серес и Смит (Seres, Smith, 1970) считают, что репарационные процессы в конидиях нейроспоры протекают более эффективно в условиях невесомости. Исследования с насекомыми на орбитальной станции «Биос-2» показали, что невесомость может как усиливать эффективность репарационных процессов (Oster, 1971; Borstel et al., 1971), так и угнетать их (Buchold et al., 1971; Slatteretal, 1969). Противоречивость экспериментальных данных указывает на целесообразность дальнейших исследований в этом направлении.

Для изучения состояния фактора F у бактерий использовали донорный штамм и определили донорскую активность у 10 379 колоний в контроле и 12 521 — в опыте. Во всех случаях бактерии сохранили донорскую способность и нормально переносили гены $thr^+$ $leu^+$ в реципиентные клетки. Невесомость, следовательно, не вызвала дезинтеграцию полового фактора у бактерий. Это согласуется с результатами нашего исследования на аппарате «Космос-368» (Лукин, Парфенов, 1971), но не соответствует данным Н. Н. Жукова-Вережникова и сотрудников (1971). По всей вероятности, несоответствие обусловлено тем, что Н. Н. Жуков-Вережников и сотрудники (1971) использовали штамм, у которого половой фактор находится в цитоплазме.

Результаты исследования показали, что невесомость не влияет на такие основные процессы у кишечной палочки, как размножение, мутагенез, рекомбинация и репарация генетических структур, а также на взаимодействие эписом и хромосом. Названные процессы протекают одинаково интенсивно при размножении бактерий как на Земле, так и в условиях невесомости и являются, следовательно, гравитационно независимыми. Этот вывод, очевидно, можно распространить на все микроорганизмы, так как перечисленные процессы имеют универсальный механизм. При полете корабля «Союз-9» было изучено развитие вестибулярного аппарата амфибий (лягушки) в условиях невесомости (Винников и др., 1972).

Как известно, рецепторные структуры вестибулярного аппарата (утрикулюс, частично саккулюс и гребешки ампул полукружных каналов) служат для определения позвоночными животными и человеком величины и направления силы тяжести, линейных и угловых ускорений. В конечном итоге вестибулярный аппарат и его центральные звенья, контролируя деятельность мускулатуры, регулируют установку тела в поле силы тяжести. Ранее методами электронной микроскопии и цитохимии была изучена структурная и функциональная организация вестибулярного аппарата позвоночных как в условиях относительного покоя, так и в условиях действия ускорений. Было показано, что в рецепторных клетках вестибулярного аппарата под действием ускорений происходят существенные сдвиги, связанные, в частности, с изменением их ультраструктурной организации и синтеза нуклеиновых кислот и белков (Винников и др., 1963, 1971). Кроме того, были прослежены основные ультраструктурные, цитохимические и функциональные закономерности дифференцировки рецепторных структур и их связей с мозгом и развивающимся отолитовым аппаратом. Исходя из этих данных, есть основания считать, что дифференцировка рецепторных структур вестибулярного аппарата в ходе эмбриогенеза связана с давлением развивающихся отолитов на поверхность утрикулярной и саккулярной макул. Если это действительно так, то в условиях невесомости можно было ожидать нарушения нормальной дифференцировки рецепторных структур вестибулярного аппарата. Вследствие изменения кальциевого обмена в условиях невесомости возможно также нарушение нормального образования самих отолитов. Установление связи между действием силы тяжести и дифференцировкой рецептора гравитации позволит лучше понять механизм его функции.



Вестибулярный аппарат амфибий закладывается в эктодерме на стадии поздней нейрулы, под индуцирующим воздействием презумптивного продолговатого мозга. В экспериментальной эмбриологии уже давно известно на основании опытов с центрифугированием оплодотворенных яиц, что длительное и большое ускорение оказывает повреждающее действие на их развитие. Короткие и слабые ускорения, по-видимому, благодаря регуляционным процессам обычно не сказываются на дальнейшем эмбриогенезе.

Это, в частности, следует также и из опытов американских исследователей при полете «Джемини» (Gill, Foster, 1967) и «Биоса-2» (Joung, Tremor, 1968). В экспериментах на «Джемини-8» и «Джемини-12» изучали влияние невесомости на способность оплодотворенных яиц лягушки нормально делиться, дифференцироваться и образовывать эмбрионы. Показали, что ранние и поздние эмбриональные стадии яиц в невесомости протекали нормально (полет «Джемини-8» и «Джемини-12» продолжался 3 и 4 суток соответственно). На «Джемини-12» были получены 10 морфологически нормальных эмбрионов, зафиксированных во время полета в специальных фиксирующих камерах. Кроме того, пять эмбрионов, которые не были зафиксированы, оказались живыми, нормально плавающими головастиками. Три из них были совершенно нормальными, а два — сросшимися. Однако эти ненормальности авторы не связывают с действием невесомости, так как в контрольных сериях оказались аналогичные патологические нарушения.

В опыте на «Биосе-2» икра лягушки Rana pipiens была помещена на борт спутника через 12 час. после оплодотворения. Как показали прижизненные наблюдения и микроскопические исследования после полета, икра достигала стадии нейрулы, зародышевые листки которой имели нормальное строение. Из части оставленных в живых зародышей развились подвижные головастики. Однако, поскольку в упомянутых опытах пребывание зародышей в условиях невесомости предшествовало органогенезу, вопрос о влиянии невесомости на образование презумптивных закладок органов и их развитие, а также о влиянии на дальнейший эмбриогенез остался, по существу, открытым.

С целью изучения развития вестибулярного аппарата в условиях невесомости без влияния каких-либо дополнительных факторов эксперимент

на корабле «Союз-9» был спланирован таким образом, чтобы воздействие ускорений при старте приходилось на те стадии эмбриогенеза, когда закладка органов еще отсутствует. В качестве объекта была выбрана оплодотворенная икра лягушки Rana temporaria на стадии бластулы и ранней гаструлы. Для создания изофизиологических условий развития был сконструирован специальный прибор — контейнер «ЭМКОН», в котором икра находилась в течение всего эксперимента. Прибор давал возможность фиксировать состояние развивающейся икры в условиях невесомости на любой стадии ее развития.

Опыты провели на икре, полученной путем искусственного оплодотворения за 43 часа до старта. Развившиеся в условиях невесомости зародыши были зафиксированы в конце двух суток полета (40 час.), т. е. почти на четвертые сутки после оплодотворения.

Икра получалась путем гипофизации и оплодотворялась искусственным сухим способом. Затем икру помещали в «ЭМКОН», наполняли доверху водопроводной отстойной водой и герметически закрывали. На каждый литр воды добавляли 2,5 мл серебряной воды (концентрация серебра 0,05 мг/мл).

«ЭМКОН», т. е. эмбриологический контейнер, состоит из двух сосудов: патрона с животными и бачка с фиксатором, объемом около 60 $см^3$ каждый. Патрон с животными закрыт крышкой и укреплен на бачке с фиксатором накидной гайкой. Потянув за ручку в дне бачка, можно открыть крышку патрона и перемешать содержимое сосудов, обработав таким образом зародышей фиксирующей жидкостью. Объем патрона с водой позволяет развиваться 12—15 зародышам в течение 10—15 суток.

При закрывании крышки контейнера в нем оставался пузырек воздуха объемом 3—5 мл. Икра прикреплялась к внутренней стенке контейнера. В каждый контейнер помещали по 10—15 оплодотворенных икринок. Выход развивающихся из икринок зародышей был равен 80%, что соответствовало лабораторному контролю. Фиксацию производили в 10%-ном растворе глютаральдегида на 0,2 М фосфатном буфере. Приведение в действие фиксирующего устройства «ЭМКОН» производилось космонавтом. Зафиксированные зародыши оставались в контейнере в растворе глютаральдегида 20 дней. Затем материал был промыт фосфатным буфером, головы зародышей были отделены от туловища и дополнительно в течение полутора часов дофиксированы в растворе осмия по Колфилду, а затем залиты в эпон и нарезаны на ультратонкие срезы. Срезы просматривали и фотографировали на электронном микроскопе. Длительное пребывание в глютаральдегиде не сказалось на качестве фиксации. Часть материала после промывки в буфере была залита в парафин и после гистохимической обработки изучалась в световом микроскопе. Всего было обработано 8 контрольных и 8 опытных зародышей.

Изучение полученного материала показало, что зародыши, развивающиеся в невесомости, так же как и контрольные, находились в момент фиксации на стадии хвостовой почки. На срезах, сделанных через голову зародыша, в световом микроскопе как в контроле, так и в опыте удается проследить слуховые пузырьки, расположенные под эктодермой по обе стороны будущего продолговатого мозга. Слуховые пузырьки заполнены эндолимфой, имеют овальную форму и находятся на стадии образования Macula communis. Последняя представляет собой утолщение вентральной части стенки пузырька — единый зачаток всех будущих рецепторных структур внутреннего уха. К медиальной части слухового пузырька в области Macula communis прилегает зачаток восьмого ганглия.



Клетки стенки слухового пузырька в световом микроскопе представляются недифференцированными, их цитоплазма плотно заполнена желточными зернами и гранулами пигмента, образуя просвет только в области ядра. На экваториальных срезах стенка слухового пузырька в области Macula communis представлена многорядным эпителием, в то время как основная часть стенки пузырька состоит из однорядного эпителия. Зачаток восьмого ганглия имеет форму вытянутого тяжа, широким основанием прилежащего к основанию эпителия слухового пузырька, а узким направленного в сторону развивающегося мозга. Клетки ганглия также изобилуют желтком и пигментными гранулами, оставаясь прозрачными в области ядра.

Стенка слухового пузырька ограничена от ганглия отчетливой базальной мембраной и небольшим просветом, который при наблюдении в световом микроскопе свободен от каких-либо волокон или клеточных отростков. Таким образом, в световом микроскопе на изученной стадии не были установлены существенные гистологические или цитологические различия между слуховыми пузырьками контрольных и опытных зародышей.

На электронограммах структурная организация слуховых пузырьков контрольных и опытных животных обнаруживает ряд существенных деталей, которые не видны в световом микроскопе. Большинство клеток слухового пузырька отличается своими крупными размерами и неправильной цилиндрической или пирамидальной формой. Они заполнены желточными зернами разной величины, неправильной овальной формы с очень высокой электронной плотностью. Зерна желтка более или менее равномерно распределены по всему телу клетки. Некоторые желточные зерна находятся на стадии резорбции. Между желточными зернами располагаются многочисленные мелкие пигментные гранулы. Пигментные гранулы также, как правило, отличаются высокой электронной плотностью. Однако некоторые из них более бледны, что, по-видимому, отражает разные этапы их развития. Митохондрии невелики и имеют округлую или овальную форму со слабо выраженными кристами с темным матриксом. Иногда отчетливо прослеживается прилежание митохондрий к ядру. В некоторых митохондриях обнаруживаются электронноплотные кристаллы. Местами могут попадаться единичные лизосомы. Эмбриональные клетки одеты хорошо выраженной плазматической мембраной, которая на местах контакта с соседними элементами образует десмозомы.

Мембраны эндоплазматической сети слабо выражены. Все же местами прослеживаются фрагменты мембран, усеянных рибосомами, и элементы аппарата Гольджи. Ядро клетки обычно средних размеров, имеет неправильную округлую форму, одето двойной пористой мембраной, причем наружная мембрана может образовывать ряд складок, переходя местами в цистерны эндоплазматической сети. Кариоплазма отличается мелкозернистой структурой. В ней прослеживаются многочисленные крупные зерна хроматина, которые имеют тенденцию занимать краевое положение на внутренней поверхности ядерной мембраны. Крупное ядрышко занимает центральное положение и по своей форме напоминает тутовую ягоду с неравномерной электронной плотностью.

Наряду с такими индифферентными эмбриональными клетками в стенке слухового пузырька как контрольных, так и опытных животных обнаруживаются отдельные элементы с отчетливыми признаками начала цитологической дифференцировки. Одни из них, по-видимому, представляют собой эмбриональные дифференцирующиеся рецепторные клетки. Дифференцировка выражается в освобождении вершины такой клетки от желточных зерен и пигментных гранул. Вместо них цитоплазму заполняют длинные, слегка извивающиеся митохондрии с многочисленными кристами и светлым матриксом. В этой же апикальной области клетки располагается центрозома, вблизи которой находится базальное тельце с ножкой. От базального тельца в глубь цитоплазмы может отходить корешок с отчетливым периодом исчерченности или отдельные микротрубочки. Базальное тельце дает начало развивающейся киноцилии, содержащей девять пар периферических и две центральные фибриллы. Центральные фибриллы берут свое начало от высоко расположенной базальной пластинки. Киноцилия покрыта продолжением плазматической мембраны. Наряду с эмбриональными клетками, у которых пока развилась только одна киноцилия, обнаруживаются клетки, отличающиеся также началом развития стереоцилий. Они развиваются из микровилл, несколько отступя от киноцилий. Стереоцилии одеты продолжением плазматической мембраны клетки. Внутри стереоцилий намечаются тонкие фибриллы, проникающие в глубь апикальной цитоплазмы клетки, в виде суженного корешка. Эта апикальная часть клетки обнаруживает начало развития кутикулы, которая состоит из мелко диспергированной субстанции.

Таким образом, на изученных стадиях как в контроле, так и в опыте в области Macula communis обнаруживаются картины начала цитологической дифференцировки отдельных эмбриональных клеток, которые, судя по развивающимся на их вершине киноцилии и стереоцилиям, представляют собой будущие рецепторные клетки дефинитивного вестибулярного аппарата. Процессы дифференцировки начинаются в апикальной области клетки.

На этих же стадиях в области Macula communis как в контроле, так и в опыте обнаруживается другой тип дифференцирующихся клеток, представляющих собой, по-видимому, будущие опорные элементы. Первоначально дифференцировка в таких клетках также прослеживается в области их вершины. Она также выражается в отодвигании желточных и пигментных гранул в глубь тела клетки и в появлении в этой области цитоплазмы многочисленных округлых митохондрий. Однако наиболее характерная черта дифференцировки таких клеток — появление большого числа базальных телец с отходящими от них в полость слухового пузырька развивающимися ресничками, содержащими девять пар периферических и две центральные фибриллы. Наряду с ресничками видны также многочисленные микровиллы. Поскольку в дефинитивном вестибулярном аппарате амфибий мерцательные клетки отсутствуют, а в опорных клетках сохраняется только одна киноцилиподобная короткая «палочка», можно думать, что в процессе дальнейшего развития остальные реснички такой клетки подвергаются редукции.

Можно считать, что эпителий стенки слухового пузырька Rana temporaria на этих стадиях состоит в основном из индифферентных густо



заполненных желтком и пигментом эмбриональных клеток. Однако наряду с ними в области Macula communis видны отдельные элементы, обнаруживающие начало дифференцировки, характерной как для рецепторных, так и для опорных клеток.

Как в контрольном, так и в опытном материале с помощью электронного микроскопа удается проследить наличие в восьмом ганглии крупных грушевидных клеток, одетых хорошо выраженной плазматической мембраной и заполненных крупными желточными зернами и мелкими пигментными гранулами. В цитоплазме таких клеток обнаруживаются округлые или палочковидные митохондрии. Ядро располагается в суженной части клетки и имеет неправильную округлую форму. Оно покрыто двойной пористой мембраной и заполнено мелко- и крупнозернистым хроматином. На противоположных полюсах таких клеток намечаются плазматические выросты, свободные от желтка и пигмента, по-видимому, соответствующие дендриту и нейриту. Дендритический отросток направляется к базальной мембране слухового пузырька в области Macula communis, а нейрит — в сторону продолговатого мозга. Как известно, нейроны восьмого ганглия являются биполярными и имеют смешанное происхождение, развиваясь как за счет клеток слухового пузырька, так и за счет нейробластов, мигрирующих из продолговатого мозга (Воробьев и др., 1969). Следовательно, на этих стадиях как в контроле, так и в опыте намечается только начало дифференцировки биполярных нейробластов восьмого ганглия.

У контрольных зародышей в одном случае (в базальной области дифференцирующихся рецепторных клеток, между их основанием и базальной мембраной) на этих стадиях были обнаружены довольно многочисленные нервные волокна разного калибра, перерезанные как в продольном, так и в поперечном направлениях. Эти волокна, по-видимому, представляют собой проникшие через базальную мембрану в глубь стенки слухового пузырька дендритические отростки нейробластов восьмого ганглия. Волокна отличаются темной аксоплазмой, заполненной многочисленными митохондриями. Желточные зерна и пигментные гранулы в них отсутствуют. Синаптические структуры между эмбриональными рецепторными клетками и подходящими к их основанию нервными волокнами не обнаруживаются. Таким образом, на изученной стадии развития слухового пузырька в контрольном материале удалось отметить начало подхода к будущим рецепторным клеткам афферентных волокон. Следует отметить, что подход нервных волокон к базальной части клетки, по-видимому, не ускоряет процессов ее дифференцировки. Об этом свидетельствует сходство описанных картин начала дифференцировки в апикальной области эмбриональных рецепторных клеток как у контрольных, так и у экспериментальных животных.

Полученный фактический материал показывает, что в условиях двухдневного пребывания оплодотворенных яиц, а затем зародышей лягушки в наземных условиях и последующего переноса их на два дня в условия невесомости развитие не приостанавливается. Такие зародыши по внешнему виду практически неотличимы от четырехдневных контрольных, которые оставались все это время на Земле. Как контрольные, так и подопытные зародыши достигли в своем развитии стадии хвостовой почки. Первые же стадии дробления и последующие стадии бластулы и ранней

гаструлы зародыши проделали на Земле. Затем, на стадии гаструлы, зародыши, претерпев воздействие ускорения величиной около 3 g в течение 3—4 мин., продолжали развиваться далее уже в условиях невесомости в течение 40 час. В условиях невесомости зародыши перешли в стадию нейрулы, а затем в стадию хвостовой почки, на которой они были зафиксированы. Судя по полученным результатам, две последние стадии в условиях невесомости протекали как обычно. Если были какие-нибудь отклонения, связанные с воздействием кратковременного ускорения и вибрации, то при последующем развитии в условиях невесомости они компенсировались. Как известно, на этих стадиях зародыши амфибий отличаются еще довольно широким диапазоном регуляции. Судя по строению развившихся в условиях невесомости слуховых пузырьков, которые ничем не отличаются от контрольных, можно не сомневаться, что их закладка и процессы формообразования, связанные с погружением и последующей отшнуровкой от эктодермы, в экспериментальных условиях протекали так же, как и в контроле. Постановка эксперимента предусматривала, что зародыши должны подвергнуться ускорениям при старте на стадии ранней гаструлы, предшествующей стадии нейрулы, когда осуществляется закладка будущего вестибулярного аппарата. Это позволило предотвратить воздействие на развитие слухового пузырька ускорения, которое существенно сказывается на структурной, цитохимической и функциональной организации рецепторных клеток (Винников и др., 1963, 1971).

В условиях невесомости процессы развития не ограничились только созданием эмбриональной формы будущего вестибулярного аппарата, т. е. слухового пузырька. Электронномикроскопические исследования показали начало цитологической дифференцировки отдельных клеток в области Macula communis и прилежащей к ней закладке восьмого ганглия. Как известно, Macula communis представляет собой общую закладку всех будущих рецепторных структур вестибулярного аппарата (Титова, 1968). Наряду с индифферентными эмбриональными клетками, заполненными желточными зернами и гранулами пигмента, на исследованных стадиях в стенке слухового пузырька как в контроле, так и в опыте удается выделить два типа дифференцирующихся клеток. Процессы дифференцировки начинаются в области их вершины, которая очищается от желточных и пигментных гранул и заполняется многочисленными митохондриями. Это обстоятельство, по-видимому, свидетельствует об усилении энергетических процессов в этой области. На апикальной поверхности дифференцирующихся клеток первого типа — будущих рецепторных — развивается одна киноцилия, а вслед за тем и полярно расположенный по отношению к ней пучок стереоцилий. Базальное тельце может быть снабжено ножкой с корешком или микротрубочками. Полярное расположение киноцилий по отношению к пучку стереоцилий и направление ножки базального тельца определяют будущую структурную и функциональную поляризацию рецепторной клетки вестибулярного аппарата (Винников и др., 1971). Развитие единичных клеток второго типа, снабженных на своей апикальной поверхности многочисленными ресничками и микровиллами, позволяет отнести их к дифференцирующимся опорным клеткам. Таким образом, полученный материал позволил проследить картину начала дифференцировки отдельных эмбриональных рецепторных и опорных клеток вестибулярного аппарата амфибий на стадии хвостовой почки, которая протекала в условиях невесомости так же, как и в наземных условиях. Нужно думать, что на последующих стадиях эмбриогенеза такие клетки, продолжая свою дифференцировку, из области Macula communis перемещаются на места будущих макул утрикулюса, саккулюса, лагены и гребешков ампул полукружных каналов, где они превращаются в дефинитивные рецепторные и опорные клетки. Доказательство осуществления этого процесса в условиях невесомости потребует дальнейших экспериментов.



В эмбриональном восьмом ганглии слухового пузырька на этих стадиях как в контроле, так и в опыте удается обнаружить начало развития биполярных нейробластов грушевидной формы с двумя полярно расположенными клеточными отростками. Один из них, который можно рассматривать в качестве дендрита, обращен в сторону слухового пузырька, другой, обращенный в сторону продолговатого мозга, является нейритом. Если ядерно-протоплазматическое тело нейробласта заполнено желточными и пигментными гранулами, то его отростки свободны от них.

В контрольном материале в одном случае в стенке слухового пузырька между базальной мембраной и основанием клеток обнаруживаются многочисленные нервные волокна, по-видимому, отходящие от биполярных нейробластов и представляющие собой дендриты, проникающие через базальную мембрану и направляющиеся к основанию дифференцирующихся рецепторных клеток. Однако синаптические контакты и соответствующие им синаптические структуры между нервными волокнами и базальными частями дифференцирующихся рецепторных клеток на этой стадии развития слухового пузырька еще отсутствуют.

В развитии нервных волокон и их переходе из восьмого ганглия в эпителий слухового пузырька один контрольный зародыш несколько опередил экспериментальных. По-видимому, это можно объяснить тем, что на ранних этапах эмбриогенеза в зародышах одной и той же кладки, развивающихся в одинаковых условиях, всегда наблюдается неравномерность в прохождении эмбриональных стадий и в дифференцировке клеточных структур.

Хотя фиксация контрольного материала была произведена на 4 часа позже опытного, это не противоречит основному выводу о том, что, начиная со стадии гаструлы, стадии хвостовой почки, развитие зародышей лягушки в условиях невесомости практически не отличается от развития на Земле. В обоих случаях обнаруживали отчетливые полноценные картины нормального эмбрионального развития, закладки органов и начала цитологической дифференцировки. Судя по электронограммам, зародыши отличаются интенсивной жизнедеятельностью. Кратковременная невесомость практически не сказывается на развитии зародышей лягушки на стадиях нейрулы и хвостовой почки и сопровождающих эти стадии образовании органов и начале цитологической дифференцировки, в том числе будущего вестибулярного аппарата. Исследования при более длительных сроках пребывания зародышей в условиях невесомости покажут, насколько этот вывод можно распространить на поздние стадии развития зародыша, превращение в личинку и далее во взрослое животное.

* * * * *

Данные, полученные в опытах с воздушно-сухими семенами скирды волосистой и ячменя, как будто бы указывают на то, что ФКП вызывают как истинные нарушения генетического материала клеток (хромосомные или хроматидные перестройки), так и потенциальные, реализующиеся в процессе хранения или проращивания семян. Проведенные эксперименты показали также, что ФКП могут повышать чувствительность этих семян к химическим и физическим мутагенам. Однако в опыте с семенами лука-батуна повреждающее влияние ФКП на хромосомный аппарат клеток не было обнаружено. Нарушения генетического аппарата в клетках сухих семян, приписываемые авторами проведенных исследований действию ФКП, индуцировались в покоящихся, метаболически неактивных клетках. С точки зрения известных фактов о действии различных химических и физических агентов на хромосомный аппарат клеток, а также общепринятой теории мутагенеза таких нарушений не следовало ожидать. Поскольку радиационная обстановка при полете кораблей «Союз-5» и «Союз-9» была спокойной (интегративная доза космической радиации составляла 31 и 32 мрада соответственно при средней мощности дозы 10 мрад в сутки), то обнаруженные нарушения нельзя объяснить действием ионизирующих излучений. Очевидно, что такие дозы не могут быть причиной поражения генетических структур, даже потенциальных, так как в лаборатории эффекты на сухих семенах удается обнаружить при их облучении в дозах выше указанных в тысячи раз. Невесомость также не может быть причиной отмеченных нарушений, как это следует из расчетов Полларда и Кондо. Кроме того, если признать, что условия невесомости вызывают хромосомные нарушения в покоящихся клеточных системах, то следовало бы ожидать универсальности мутагенного эффекта при экспериментах в космических полетах, чего на самом деле не наблюдается. Есть серьезные основания считать, что обнаруженные повреждения генетических структур у сухих семян были вызваны не ФКП, а температурными колебаниями во время полетов, гетерогенностью материала и неконтролируемыми условиями при его транспортировке. Специально проведенные нами эксперименты показали, что повышение температуры всего на 1 час до 37—50° способно индуцировать практически весь спектр хромосомных нарушений, наблюдаемых при космических полетах.

Материалы экспериментов с микроорганизмами показывают, что ФКП не влияют на их размножение, мутагенез, гететическую рекомбинацию и репарацию. Кажущимся исключением являются данные опыта, проведенного Н. Н. Жуковым-Вережниковым с сотр., с лизогенными бактериями. При применении к этим данным более высоких критериев оценки они не выходят за рамки общего вывода.

В опыте с оплодотворенными яйцеклетками лягушки установили, что условия невесомости не влияют на их развитие по крайней мере до стадий нейрулы и хвостовой почки и не нарушают последующую цитологическую дифференцировку вестибулярного аппарата. Чрезвычайно интересно было бы проведение критического опыта с оплодотворением яиц земноводных в условиях невесомости, так как опыты на клиностатах показывают, что решающим для развития является короткий двухчасовой период после оплодотворения, во время которого в результате процесса конвекции происходит дифференцировка на вегетативный и анимальный полюсы.

# Глава 16. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ВО ВРЕМЯ ПОЛЕТА КОРАБЛЕЙ «СОЮЗ-19» и «АПОЛЛОН»

В соответствии с соглашением между правительствами СССР и США о сотрудничестве в области исследования и использования космического пространства в мирных целях, подписанным в мае 1972 г. в Москве, в июле 1975 г. состоялся совместный экспериментальный полет кораблей «Союз» и «Аполлон».

Подготовка и осуществление этого полета вызвали огромный интерес во всех уголках земного шара. При подготовке к полету состоялись многочисленные встречи рабочих групп специалистов СССР и США, во время которых были решены технические вопросы, связанные с проектированием и созданием систем сближения и стыковки кораблей, а также разработаны совместные планы полета, включая планы подготовки экипажей кораблей, медико-биологических исследований во время и после полета.

Как известно, в составе экипажа корабля «Союз» были летчики-космонавты СССР А. А. Леонов (командир корабля) и В. Н. Кубасов (бортинженер). Оба космонавта имели опыт космических полетов: А. А. Леонов совершил полет на корабле «Восход-2», во время которого впервые в мире вышел в открытый космос; В. Н. Кубасов в качестве бортинженера совершил полет на корабле «Союз-6».

В состав основного экипажа корабля «Аполлон» входили: Томас Стаффорд (командир), Дональд Слейтон (пилот переходного отсека) и Вэнс Бранд (пилот основного блока). Стаффорд ранее участвовал в трех космических полетах на кораблях «Джемини-6», «Джемини-9» и «Аполлон-10».

Основная задача экспериментального полета кораблей «Союз» и «Аполлон» — проведение испытаний совместных средств сближения стыковки, разрабатываемых для будущих советских и американских пилотируемых космических кораблей и космических станций СССР и США.

Кроме испытаний совместной стыковочной системы на орбите, экипажи кораблей «Аполлон» и «Союз» выполняли маневры по стыковке и расстыковке кораблей, переходили из одного корабля в другой и проводили ряд научных экспериментов и технических исследований.

**Общая характеристика полета.** Схема совместного полета была следующей. 15 июля 1975 г. стартовал космический корабль «Союз». Старт космического корабля «Аполлон» был осуществлен примерно через 7,5 часа после старта корабля «Союз». После выполнения в течение первых суток ряда маневров корабли «Союз» и «Аполлон» были выведены на монтажную орбиту и примерно через двое суток после старта состыкованы. Затем на протяжении двух суток полет кораблей продолжался в состыкованном состоянии. Экипажи проводили совместные эксперименты, в том числе медико-биологические эксперименты по изучению микробно-

го обмена и особенностей роста и развития зонообразующих грибков. После расстыковки была произведена повторная стыковка. Все переходы с корабля на корабль члены экипажей выполняли без скафандров. Время, отведенное для сна, они проводили на борту своих кораблей.

Программа полета четко выполнялась с момента старта корабля «Союз». Все основные совместные операции в полете не вызывали затруднений. Однако во время полета были и трудности. В первые часы полета не удалось получить телевизионного изображения с борта корабля «Союз», а американские астронавты не смогли вовремя разобрать люк и освободить проход из командного в стыковочный модуль корабля «Аполлон». Благодаря рекомендациям специалистов совместного Центра управления и умелым действиям А. А. Леонова и В. Н. Кубасова на борту корабля «Союз» был произведен ремонт и восстановлена работоспособность телевизионной системы. Астронавты корабля «Аполлон» по рекомендациям с Земли также устранили неполадки.

После выполнения научно-технических экспериментов в состыкованном состоянии корабли расстыковались и продолжали полет по автономным программам. Космический корабль «Союз-19» приземлился 21 июля 1975 г. в заданном районе.

Во время полета параметры микроклимата и давление в жилых отсеках корабля удерживались в заданных пределах. Радиационная обстановка была благоприятной. Интегральная доза облучения во время полета составила 50 мрад.

**Атмосфера корабля «Союз» и выбор режима давления.** Одна из основных медицинских проблем совместного полета кораблей «Союз» и «Аполлон» состояла в обеспечении безопасности перехода экипажей из одного корабля в другой. Эта проблема обусловлена тем обстоятельством, что среды кораблей «Союз» и «Аполлон» несовместимы в связи с различием основных параметров их атмосфер. Атмосфера кораблей «Союз» в предшествующих полетах была близка к земной и характеризуется давлением около 760 мм рт. ст. при обычном содержании кислорода 19—33% и азота 66—78%. В кораблях «Аполлон» среда чисто кислородная, а давление 260 мм рт. ст. Подобные различия в средах явились одной из основных медицинских проблем, которые надо было решить, чтобы обеспечить переход из одного корабля в другой. Проведенные экспериментальные исследования показали, что при переходе от нормального атмосферного давления (760 мм рт. ст.) к давлению 260 мм рт. ст. в большинстве случаев у человека возникают декомпрессионные расстройства в результате образования во внутренних средах организма свободных газовых пузырьков (мышечно-суставные боли — так называемые симптомы «bends», загрудинные боли и другие нарушения). Помимо названных нарушений, могут наблюдаться также симптомы со стороны желудочно-кишечного тракта в виде метеоризма, нарушения со стороны придаточных пазух носа и полостей среднего уха и др.

Таким образом, непосредственный переход из корабля «Союз» в корабль «Аполлон» при сохранении традиционных величин давления и состава атмосфер был бы невозможен вследствие большой вероятности развития декомпрессионных нарушений. В связи с этим возникла проблема выбора и обоснования такого режима перехода, который гарантировал бы отсутствие у членов экипажа этих нарушений.



Для решения данной проблемы существовало несколько путей. Один из них — предупреждение декомпрессионных расстройств путем постепенного вымывания из крови растворенного в ней азота методом десатурации. Для обеспечения процесса десатурации космонавты должны были бы находиться в шлюзовой камере и дышать чистым кислородом в течение нескольких часов. Разумеется, такой путь нерационален, поскольку требует больших затрат времени. Кроме того, было показано, что десатурация как профилактическая мера при длительном пребывании в атмосфере с пониженным давлением, особенно при выполнении мышечной работы, не всегда достаточно эффективна. Вместе с тем было показано, что в случае снижения разницы давления между отсеками кораблей время десатурации может быть существенно уменьшено, а эффективность ее повышена. Таким образом, необходимо было выбрать приемлемые величины давлений в кораблях «Союз» и «Аполлон», исключающие возможность возникновения декомпрессионных расстройств при переходе из одного корабля в другой.

В результате проведенных в СССР исследований было установлено, что переход из газовой среды с давлением 520±30 мм рт. ст. при содержании кислорода 40% после 12-часового пребывания в ней в кислородную среду с давлением около 260 мм рт. ст. не сопровождается развитием декомпрессионных расстройств и обеспечивается безопасность перехода. Исходя из этого, в космическом корабле «Союз» во время перехода номинальное давление составляло 520±30 мм рт. ст.

Для осуществления самого перехода был создан переходный отсек, в котором при закрытии люка корабля «Аполлон» поднималось давление до уровня, равного давлению в корабле «Союз». И только после выравнивания давлений осуществляется переход из одного корабля в другой.

Во время полета корабля «Союз-19» снижение давления началось на пятом витке, и за 2 часа 34 мин. оно снизилось до 539 мм рт. ст., а парциальное давление кислорода — до 150 мм рт. ст. Перед осуществлением первого перехода давление было снижено до 495 мм рт. ст. На 64 витке было увеличено давление в отсеке до 800 мм рт. ст.

**Медицинские особенности экспериментального полета кораблей «Союз» и «Аполлон».** Медицинское обеспечение и медико-биологические исследования во время совместного экспериментального полета кораблей «Союз» и «Аполлон» планировались с учетом особенностей этого полета с точки зрения влияния на организм членов экипажей. К числу этих особенностей относится то обстоятельство, что в связи с кратковременностью полета основные операции и совместная деятельность членов экипажей осуществлялись на фоне начального периода адаптации к условиям невесомости.

Это обстоятельство учитывали при составлении программы полета и при разработке медицинских рекомендаций. Следует иметь в виду, что на фоне начального периода адаптации от экипажа требовалось проявление большой двигательной активности и выполнение ответственных операций, связанных со значительным эмоциональным и физическим напряжением.

Другая особенность экспериментального полета кораблей «Союз» и «Аполлон» состояла в том, что в космосе находились одновременно пять членов экипажей, причем двое суток в стыкованных кораблях. В связи

с этим представляется целесообразным провести целенаправленную оценку результатов обследований в пред- и послеполетном периодах с точки зрения влияния условий кратковременного космического полета на организм человека, когда еще полностью не завершились перестройка и приспособление организма к условиям невесомости. При этом различная продолжительность полета кораблей («Союз» — 6 суток, «Аполлон» — 9 суток) может позволить выявить особенности течения приспособительного процесса к состоянию невесомости. Однако это предмет специального анализа полученной медицинской информации о состоянии здоровья членов экипажей обоих кораблей.

Переход членов экипажей из одного космического корабля в другой и обратно, совместная деятельность смешанных экипажей также являются особенностью полета, позволяющей провести ряд совместных медико-биологических экспериментов, связанных с изучением циркадианных ритмов на биологических объектах и особенностями обмена микроорганизмами в этих условиях.

Наконец рассмотренные выше различные условия газовой среды в кораблях «Союз» и «Аполлон» сделали необходимой разработку специальных медицинских требований для выполнения переходов, и, кроме того, это дополнительный фактор, который должен учитываться при анализе реакций экипажей.

**Общая характеристика программы медико-биологических исследований.** Изложенные особенности совместного экспериментального полета определили основные задачи проведения пред- и послеполетного клинико-физиологического обследования членов экипажей и медицинского контроля во время полета. Эти задачи перед полетом состояли в клинической оценке состояния здоровья членов экипажей и в выявлении возможных скрыто протекающих заболеваний или функциональных нарушений, требующих проведения лечебно-профилактических мероприятий. Исследования в послеполетном периоде, а также результаты медицинского контроля, полученные во время полета, были направлены на оценку общей реакции организма на воздействие факторов космического полета и на изучение реакций организма при реадаптации к условиям земной силы тяжести на фоне еще не завершившегося приспособления к условиям невесомости.

Программа пред- и послеполетных обследований экипажа корабля «Союз» включала: врачебное обследование; клинические лабораторные исследования; биохимические исследования; исследования состояния сердечно-сосудистой системы в покое и при проведении функциональных проб; исследования вестибулярной функции; иммунологические исследования и др.

Для стабилизации здоровья членов экипажей и профилактики возникновения заболеваний проводили частичную изоляцию членов экипажа корабля «Союз» перед полетом. Эти мероприятия были направлены на исключение переноса сроков полета вследствие болезней членов экипажей перед полетом и на предупреждение заболеваний перед полетом и во время полета. Частичная изоляция заключалась в том, что во время этого периода члены экипажа вступали в непосредственные контакты только с ограниченным кругом необходимого для работы персонала. Лица, которым необходимо было вступать в контакт с членами экипажей перед



полетом, проходили медицинский осмотр и контроль, чтобы убедиться, что они не являются носителями инфекционных заболеваний.

Медицинский контроль за состоянием членов экипажа осуществлялся только во время его пребывания в своем корабле. Для проведения медицинского контроля использовали сообщения членов экипажа о самочувствии и данные регистрации физиологических параметров (электрокардиограммы, частоты дыхания, сейсмокардиограммы) и параметров, характеризующих состояние среды в корабле во время полета. Эти данные использовали для оценки состояния здоровья членов экипажей, их работоспособности и для интерпретации результатов послеполетного обследования.

Наряду с медицинским контролем проводили дозиметрический контроль для оценки уровня радиационного воздействия на экипаж. Служба радиационной безопасности осуществляла также прогноз радиационной обстановки в жилых отсеках корабля, на трассе полета и прогноз солнечных вспышек.

Во время полета проводили два биологических эксперимента, в которых принимали участие экипажи кораблей «Союз», и «Аполлон». Это — исследование микробного обмена и эксперимент с зонообразующими грибами. Кроме того, проводили биологические эксперименты по национальной программе, направленные на изучение роста микроорганизмов, эмбрионального развития рыб, а также генетические исследования.

**Краткая предполетная медицинская характеристика космонавтов.** А. А. Леонов: рождения — 1934 г., рост — 173 см, вес — 79 кг.

Особенности в состоянии здоровья: умеренно выраженная гипертрофия левого желудочка. По данным ЭКГ отмечалось замедление внутрижелудочковой проводимости на фоне отклонения электрической оси влево, при функциональных пробах с физической нагрузкой эпизодически отмечались желудочковые экстрасистолы и снижение сегмента ST, исчезающие в восстановительном периоде. Для А. А. Леонова характерна некоторая ваготоническая направленность реакций сердечно-сосудистой системы, колебания частоты пульса в покое 46—60 уд/мин. Функциональные возможности организма высокие. По психологической оценке обладает высоким функциональным уровнем психических процессов и личности, а также психической готовности к выполнению космического полета.

В. Н. Кубасов: рождения — 1935 г., рост — 170 см, вес — 76,6 кг.

Особенности в состоянии здоровья: некоторая склонность к гипертензивным реакциям. Частота пульса в покое 68—75 уд/мин. Артериальное давление в покое 125—140/80—90 мм рт. ст.

**Состояние космонавтов в полете.** *Отчеты космонавтов.* При переходе к условиям невесомости у А. А. Леонова возникли иллюзорные ощущения, которые он охарактеризовал как перевернутое положение тела. Через 3—4 часа на фоне ощущения прилива крови к голове появилось чувство жара во всем теле, небольшое поташнивание. Явления дискомфорта нарастали с увеличением двигательной активности, которую он не имел возможности ограничить в связи с необходимостью выполнения важных рабочих операций и ремонтных работ. Ощущение прилива и вестибулярный дискомфорт исчезли к концу вторых суток. Характерно, что при движении головой А. А. Леонов ощущал появление нагрузки

13 Заказ № 716

на вестибулярный аппарат и вестибулярный дискомфорт, напоминающие ощущения при испытании на переносимость кумуляции кориолисовых ускорений, проводившемся на Земле. А. А. Леонов также отмечал, что эмоциональная напряженность и выполнение важных рабочих операций притупляют вестибулярный дискомфорт и как бы отвлекают от неприятных ощущений. Заложенности носа, в отличие от В. Н. Кубасова, не было. При переходе в газовую среду с пониженным давлением отмечал появление заложенности ушей. Во время пребывания в корабле «Аполлон» испытывал ощущение сухости во рту и носоглотке, а также некоторое изменение голоса. Каких-либо декомпрессивных симптомов во время перехода не отмечал. Однако после четвертого перехода (около 6 час. пребывания его в корабле «Аполлон») возникла головная боль (принял таблетку анальгина). Во время всего полета А. А. Леонова беспокоили периодически, особенно после сна, умеренные боли в поясничной области, которые, по-видимому, были связаны с перераспределением мышечного тонуса. При работе боли исчезали, возникало постоянное желание потянуться.

У В. Н. Кубасова субъективные ощущения были несколько иными. При переходе к условиям невесомости у него возникало иллюзорное ощущение «приближения приборной доски». Через некоторое время появилось ощущение прилива крови к голове, достигшее наибольшей остроты ко второму дню полета и постепенно исчезнувшее к концу полета. В период наибольшего прилива крови двигательная активность, особенно движения головой, была неприятна. Выраженных вестибуло-вегетативных расстройств не было. Отчетливо проявились одутловатость лица и инъекция сосудов склер. Примечательно, что ощущение прилива крови к голове в условиях невесомости, по мнению В. Н. Кубасова, было эквивалентно — 15° при антиортостатической пробе на Земле. По оценке же А. А. Леонова это ощущение прилива соответствовало углу наклона — 22—25°.

Характерно для В. Н. Кубасова также ощущение заложенности носа, особенно во время сна, что, по-видимому, причиняло известное неудобство. Эта заложенность сопутствовала ему на протяжении всего полета. Важно подчеркнуть, что именно у В. Н. Кубасова отмечался в качестве особенности вазомоторный фон слизистых носа и носовых раковин в частности. Как известно из ЛОР-практики, именно вазомоторно измененная слизистая носа более всего предрасположена к такого рода набухаемости, особенно при перераспределении крови. Головных болей не было. Не отмечалось никаких неприятных ощущений при переходах. По мнению В. Н. Кубасова, кислородная среда корабля «Аполлон» отличается специфическим запахом. Каких-либо симптомов, указывающих на декомпрессивные расстройства, бортинженер не отмечал. Острый период адаптации, по мнению В. Н. Кубасова, закончился к пятому дню.

Аппетит у космонавтов на всем протяжении полета (за исключением первых суток у А. А. Леонова) был хорошим. В первые сутки В. Н. Кубасов испытывал умеренную жажду. Мочеиспускание у обоих космонавтов в полете было обычным, стул первый раз был на третьи сутки, а затем ежедневно.

*Режим дня.* Циклограмма трудовой деятельности была очень насыщена ответственными операциями. Рабочий день планировался продолжительностью 8 час. и более. К этому добавились работы по ремонту телекамеры, что потребовало от экипажа чрезвычайно большого напряжения и уплотнения циклограммы. В результате в течение первых суток полета экипаж спал немногим более 3,5 часа, принимал пищу в незапланированное время, не имел личного времени и т. д. В третьи и четвертые сутки экипаж также спал не более 6 час. Сон, по мнению экипажа, был хорошим. После завершения работ по ремонту телекамеры экипажу была предоставлена возможность полноценного сна. Перед сном члены экипажа приняли по две таблетки фенибута, что дало хорошие результаты.



*Оценка изменений физиологических показателей.* Частота сердечных сокращений и частота дыхания на всем протяжении полета были адекватны воздействующим факторам (табл. 67). В предстартовом периоде и по мере приближения старта, во время выведения на орбиту отмечалась тахикардия. При этом у А. А. Леонова частота пульса на активном участке была 74—90 уд/мин, у В. Н. Кубасова — 94—96 уд/мин. Соответственно частота дыхания в этом периоде равнялась 22—26 и 24—30. У А. А. Леонова на активном участке зарегистрирована одна желудочковая экстрасистола. Во время орбитального полета частота сердечных сокращений и частота дыхания существенно не отличались у обоих космонавтов от предполетных величин и колебались: у А. А. Леонова — соответственно 48—74 и 12—20, у В. Н. Кубасова — 60—87 и 12—29 в 1 мин. В ходе полета были выявлены некоторые изменения со стороны электрокардиограммы.

На 34 витке после стыковки с кораблем «Аполлон» на ЭКГ у А. А. Леонова, по сравнению с предполетными данными и данными первых суток полета, наметилось некоторое снижение зубца Т. Затем на пятые сутки после осуществленных переходов выявилась дальнейшая отрицательная динамика конечной части желудочкового комплекса. Наряду с этим на-

Таблица 67. **Изменения частоты сердечных сокращений (уд/мин) и частоты дыхания (цикл/мин) у членов экипажа космического корабля «Союз-19»**

| Период наблюдения | ЧП | ЧД | ЧП | ЧД |
|---|---|---|---|---|
| | А. А. Леонов | | В. Н. Кубасов | |
| **Перед стартом за** | | | | |
| 2 часа | 66 | 12 | 18 | 12 |
| 1 час | 84 | 21 | 72 | 33 |
| 3 мин. | 78 | 18 | 84 | 22 |
| 1 мин. | 78 | 18 | 90 | 24 |
| **На участке выведения на орбиту** | 74—90 | 22—26 | 94—96 | 24—30 |
| **Полет, сутки** | | | | |
| первые | 52—74 | 14—16 | 62—87 | 18—29 |
| вторые | 42—54 | 8—15 | 60—65 | 12—26 |
| третьи | 50—60 | 14—16 | 68—72 | 20—24 |
| пятые | 52—60 | 12—20 | 60—70 | 12—18 |
| шестые | 48—62 | 12—16 | 68—78 | 18—26 |

мечалось последовательное увеличение отношения R/T до 8,6 против 4,2 при фоновых исследованиях. На шестые сутки (на 78, 80, 83 витках) было зарегистрировано уплощение зубца T почти до изолинии и некоторая тенденция к смещению интервала ST. Аналогичные изменения со стороны электрокардиограммы в отведениях DS наблюдались в этом периоде полета и у некоторых других космонавтов. Они не требовали проведения каких-либо специальных лечебных мероприятий. Однако для профилактики и снятия возникших изменений ЭКГ у А. А. Леонова была выдана рекомендация несколько увеличить продолжительность сна накануне дня посадки с предварительным приемом фенибута, а также рекомендован прием препарата панангина (содержит калий и магний) для нормализации метаболических процессов в сердечной мышце. После сна амплитуда зубца T отчетливо увеличилась, а отношение R/T уменьшилось. По поводу генеза описанных изменений ЭКГ у А. А. Леонова в настоящее время могут быть высказаны лишь предварительные соображения, поскольку анализ полученных в полете данных и их сопоставление с данными пред- и послеполетного обследования еще не завершен. Возможно, в основе описанных изменений ЭКГ лежат метаболические сдвиги в сердечной мышце, обусловленные, вероятно, повышением симпатико-тонических влияний во время полета. По-видимому, определенную роль могли сыграть индивидуальные особенности сердечно-сосудистой системы А. А. Леонова, ваготоническая направленность ее реакции в обычных условиях жизни. Усиление адренергических влияний на сердце в полете и относительное влияние холинергической системы могло обусловить перестройку метаболизма в миокарде и способствовать развитию наблюдаемой тенденции в конечной части желудочкового комплекса ЭКГ. Нельзя исключить также взаимосвязь этих изменений с явлениями выраженного начального периода адаптации.

**Результаты исследований в послеполетном периоде.** *Общеклиническое обследование врачами-специалистами.* После завершения полета члены экипажа испытывали некоторую усталость и потребность в сне. Объективно отмечались умеренно выраженные изменения статокинетики, проявляющиеся в покачивании во время ходьбы и при исследовании в позе Ромберга. Во время последней наблюдался также нерезко выраженный тремор пальцев рук. Оба космонавта были в приподнятом настроении, легко вступали в контакт. После ночного сна явления усталости исчезли. Данные о частоте сердечных сокращений и артериальном давлении представлены в табл. 68.

Пульс при исследовании после приземления был у обоих космонавтов ритмичным. Данные электрокардиографического обследования не выявили у обоих космонавтов существенных изменений. Показатели ЭКГ А. А. Леонова находились в пределах индивидуальных колебаний, наблюдавшихся до полета. У В. Н. Кубасова ЭКГ практически не отличалась от предполетных показателей.

*Исследование ортостатической устойчивости.* Для исследования ортостатической устойчивости до и после полета применяли пробы на отрицательное давление на нижнюю часть тела (ОДНТ) и 10-минутного пассивного стояния под углом 70°. Обследования проводились за 45, 30 и 15 суток до полета, в день приземления, а также на первые и четвертые сутки после полета. В первые часы после полета ортостатическая устойчи-



Таблица 68. **Частота пульса и кровяное давление у космонавтов после приземления**

| Период наблюдения | ЧП | | АД | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | покой | задержка дыхания | покой | | задержка дыхания | |
| | | | макс. | мин. | макс. | мин. |
| **29.VII 1975 г.** | А. А. Леонов | | | | | |
| **Через 2 часа** | 76 | — | 130 | 95 | — | — |
| **Через 6 час.** | 68 | 74 | 115 | 75 | 120 | 80 |
| **После ночного сна** | 72 | — | 130 | 70 | — | — |
| | В. Н. Кубасов | | | | | |
| **Через 2 часа** | 84 | — | 125 | 90 | — | — |
| **Через 6 час.** | 96 | 90 | 115 | 95 | 140 | 60 |
| **После ночного сна** | 74 | — | 120 | 90 | — | — |

вость у обоих космонавтов была несколько снижена, что проявлялось в умеренной тахикардии и уменьшении наполнения пульса. Однако это снижение ортостатической устойчивости не отражалось на двигательной активности космонавтов. Проведенная на четвертые сутки после полета проба с ОДНТ показала практически полное восстановление ортостатической устойчивости по сравнению с предполетным уровнем.

*Реакция кардио-респираторной системы на физическую нагрузку.* Переносимость членами экипажа корабля «Союз-19» физических нагрузок 450 кгм/мин в течение 7 мин. в положении лежа и сидя как до полета, так и через одни сутки после его завершения была хорошей. При испытании нагрузками после полета реакция со стороны сердечно-сосудистой и дыхательной систем была более выраженной по сравнению с фоновыми данными (табл. 69). Это проявлялось в менее экономичном потреблении кислорода во время работы и в большем напряжении регуляторных механизмов сердечно-сосудистой системы.

*Биохимические исследования.* Предполетное обследование проводили за 30 и 15 суток до старта (исследование венозной крови и суточной мочи) и за 4 суток до старта (исследование суточной мочи). Послеполетное обследование проводили по следующей схеме: исследование суточной мочи, собранной в день приземления и на первые сутки после завершения полета, а также исследование венозной крови через 1 и 4 суток после завершения полета. Обследование в предполетном периоде показало, что изучаемые показатели в основном находились в пределах физиологической нормы. Обследование, проведенное в послеполетном периоде, выявило наличие изменений (в сравнении с предполетными величинами) по ряду исследованных параметров (табл. 70, 71). Следует отметить, что выявленные изменения у обоих космонавтов в основном были однонаправленными и различались в ряде случаев только степенью выраженности.

Таблица 69. **Кардио-респираторные показатели космонавтов после полета (в % по сравнению с предполетными данными)**

| Показатель | Лежа | Сидя | Лежа | Сидя |
|---|---|---|---|---|
| | А. А. Леонов | | В. Н. Кубасов | |
| **Частота сердечных сокращений (средняя за нагрузку)** | +12 | +20 | +11 | +13 |
| **Кислородный пульс (средний за нагрузку)** | —10 | —18 | —5 | —5 |
| **Суммарное потребление кислорода за нагрузку и восстановительный период** | +4 | +2 | +5 | +5 |

В послеполетном периоде отмечено некоторое повышение содержания альбуминов и понижение содержания глобулинов, главным образом за счет гамма-глобулинов у обоих космонавтов, выходящего за пределы общепринятой нормы. Концентрация глюкозы в крови также была повышена сверх верхней границы нормальных колебаний. Активность креатинфосфокиназы (у В. Н. Кубасова), аланинаминотрансферазы (у обоих космонавтов), фракции изофермента ЛДГ$_3$ (у А. А. Леонова) была повышенной и превышала верхние границы нормы. У А. А. Леонова значительно возрастала экскреция с мочой (сверх нормальных величин) адреналина, норадреналина и мочевой кислоты в день приземления и на первые сутки после полета. В то же время экскреция с мочой этих соединений у В. Н. Кубасова была понижена по сравнению с предполетными данными и находилась на уровне нижних границ физиологической нормы.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что величины показателей метаболизма в послеполетном периоде хотя и выходили за пределы нормальных величин, тем не менее не претерпевали существенных изменений.

*Исследование водно-солевого обмена.* В период до- и послеполетного обследования экипажа корабля «Союз-19» производили фракционный сбор суточной мочи. Определяли объем каждой порции мочи и исследовали содержание в ней натрия, калия (пламенная фотометрия), кальция, магния (атомно-абсорбционный анализ) и осмотическую концентрацию (криоскопия). Те же параметры изучали в сыворотке крови.

После полета вес А. А. Леонова уменьшился на 2,4 кг, В. Н. Кубасова — на 1,2 кг. Величины суточного диуреза и экскреции электролитов при дополетном обследовании у обоих космонавтов находились в пределах физиологических колебаний (табл. 72). Сразу после приземления у обоих космонавтов отмечалось снижение выведения жидкости, натрия, калия, осмотически активных веществ, магния и в меньшей степени кальция. Результаты исследования содержания электролитов в сыворотке крови представлены в табл. 73. При этом каких-либо существенных изменений по сравнению с предполетным обследованием не выявлено. Следует лишь отметить некоторое относительное снижение концентрации калия у А. А. Леонова и кальция у В. Н. Кубасова. Однако эти изменения не выходили за пределы колебаний содержания этих веществ



Таблица 70. **Изменение биохимических показателей крови и мочи А. А. Леонова до и после полета**

| Показатель | Сутки до и после полета | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 30 | 15 | 4 | день приземления | 1 | 4 |
| **Общий белок, г%** | 8,0 | 6,9 | — | — | — | — |
| **Белковые фракции** | | | | | | |
| альбумины, % | 64,7 | 64,5 | — | — | 65,9 | 76,9 |
| глобулины (общие), % | 35,3 | 35,5 | — | — | 34,1 | 23,1 |
| | 1,8 | 1,6 | — | — | 0,8 | 0,8 |
| | 5,9 | 5,5 | — | — | 5,2 | 3,8 |
| | 14,0 | 13,1 | — | — | 13,8 | 10,8 |
| | 13,6 | 15,3 | — | — | 14,3 | 7,7 |
| **Мочевина крови, мг%** | 44 | 52 | — | — | — | 30,0 |
| **Мочевина мочи, г/сутки** | 26,2 | 19,9 | 20,5 | 24,2 | 16,5 | — |
| **Мочевая кислота** | | | | | | |
| крови, мг% | 6,9 | 6,3 | — | — | — | 5,8 |
| мочи, кг/сутки | 1157 | 603 | 876 | 990 | 729 | — |
| **Креатинин** | | | | | | |
| крови, мг% | 1,9 | 1,6 | — | — | 1,2 | 1,0 |
| мочи, мг/сутки | 1,9 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 1,4 | — |
| **Глюкоза, мг%** | 120 | 100 | — | — | 148 | 138 |
| **Молочная кислота, мг%** | 14,8 | 15,0 | — | — | — | 10,8 |
| **Пировиноградная кислота, мг%** | 0,8 | 0,9 | — | — | 0,75 | — |
| **ЛДГ-общая активность, ед.** | 175 | 157 | — | — | — | 158 |
| **ЛДГ-активность изоферментов, %** | | | | | | |
| ЛДГ$_1$ | 29,5 | 30,1 | — | — | — | 29,7 |
| ЛДГ$_2$ | 38,6 | 37,2 | — | — | — | 31,6 |
| ЛДГ$_3$ | 21,0 | 18,5 | — | — | — | 23,3 |
| ЛДГ$_4$ | 4,7 | 6,4 | — | — | — | 9,6 |
| ЛДГ$_5$ | 6,2 | 7,8 | — | — | — | 5,8 |
| **Креатинфосфокиназа, ед.** | 122 | 185 | — | — | 105 | 95 |
| **Щелочная фосфатаза, ед.** | 72,0 | 66,0 | — | — | — | 42,0 |
| **Аланинаминотрансфераза, ед.** | 43,0 | 43,0 | — | — | — | 46,0 |
| **Аспартатаминотрансфераза, ед.** | 32,0 | 34,0 | — | — | — | 26,0 |
| **Адреналин крови, мкг/л** | 0,61 | — | — | — | — | — |
| **Норадреналин крови, мкг/л** | 0,78 | — | — | — | — | — |
| **Адреналин мочи, мкг/сутки** | 12,5 | 9,0 | 13,7 | 41,7 | 18,9 | — |
| **Норадреналин мочи, мкг/сутки** | 28,5 | 29,4 | 18,3 | 69,5 | 56,5 | — |
| **ДОФА мочи, мкг/сутки** | 30,2 | 69,2 | 38,8 | 107,0 | 51,8 | — |
| **Дофамин мочи, мкг/сутки** | 248,0 | 340,0 | 218,0 | 420,0 | 575,0 | — |
| **Кортизол крови, мкг%** | 17,0 | 10,5 | — | — | 9,0 | 11,0 |
| **Тироксин крови (Т4), мкг%** | 4,28 | 2,53 | — | — | 6,05 | 7,4 |
| **Тиреотропный гормон (ТТГ) крови, нг/мл** | 1,35 | 1,75 | — | — | 1,1 | 0,96 |
| **Билирубин общий, мг%** | 0,8 | 0,9 | — | — | — | 0,3 |

Таблица 71. **Изменения биохимических показателей крови и мочи В. Н. Кубасова до и после полета**

| Показатель | Сутки до и после полета | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 30 | 15 | 4 | день приземления | 1 |
| **Общий белок, г%** | 7,9 | 7,4 | — | — | 7,0 |
| **Белковые фракции, %** | | | | | |
| альбумины | 60,4 | 68,3 | — | — | 80,1 |
| глобулины общие | 39,6 | 31,7 | — | — | 19,9 |
| | 3,7 | 4,4 | — | — | 1,7 |
| | 11,1 | 5,0 | — | — | 4,2 |
| | 6,5 | 10,0 | — | — | 7,0 |
| | 18,3 | 12,3 | — | — | 7,0 |
| **Мочевина крови, мг%** | 42,0 | 56,0 | — | — | 35,0 |
| **Мочевина мочи, г/сутки** | 28,0 | 23,3 | 25,0 | 21,6 | 18,5 |
| **Мочевая кислота** | | | | | |
| крови, мг% | 6,2 | 5,7 | — | — | 7,5 |
| мочи, мг/сутки | 975 | 259 | 798 | 702 | 674 |
| **Креатинин** | | | | | |
| крови, мг% | 1,6 | 1,4 | — | — | 1,1 |
| мочи, г/сутки | 2,0 | 1,2 | 1,8 | 1,6 | 1,3 |
| **Глюкоза, мг%** | 118 | 100 | — | — | 172 |
| **Молочная кислота, мг%** | 12,2 | 14,2 | — | — | 11,4 |
| **Пировиноградная кислота, мг%** | 0,6 | 0,75 | — | — | 0,89 |
| **ЛДГ-общая активность. ед.** | 172 | 170 | — | — | 160 |
| **ЛДГ-активность изоферментов, %** | | | | | |
| $ЛДГ_1$ | 33,1 | 31,1 | — | — | 31,8 |
| $ЛДГ_2$ | 39,7 | 39,6 | — | — | 35,8 |
| $ЛДГ_3$ | 18,9 | 20,1 | — | — | 18,3 |
| $ЛДГ_4$ | 6,2 | 5,0 | — | — | 7,1 |
| $ЛДГ_5$ | 2,1 | 4,2 | — | — | 7,0 |
| **Креатинфосфокиназа, ед.** | 95,0 | 105,0 | — | — | 145,0 |
| **Щелочная фосфатаза, ед.** | 70,0 | 57,0 | — | — | 40,0 |
| **Аланинаминотрансфераза, ед.** | 43,0 | 26,0 | — | — | 52,0 |
| **Аспартатаминотрансфераза, ед.** | 36,0 | 24,0 | — | — | 30,0 |
| **Адреналин крови, мкг/л** | 0,26 | 0,48 | — | — | 0,21 |
| **Норадреналин крови, мкг/л** | 1,09 | 0,84 | — | — | 0,71 |
| **Адреналин мочи, мкг/сутки** | 15,9 | 15,3 | 11,8 | 5,04 | 3,92 |
| **Норадреналин мочи, мкг/сутки** | 31,9 | 41,5 | 40,3 | 12,6 | 19,6 |
| **ДОФА мочи, мкг/сутки** | 43,9 | 64,0 | 89,0 | 14,6 | 16,7 |
| **Дофамин мочи, мкг/сутки** | 440,0 | 192,4 | 447 | 120,5 | 146,9 |
| **Кортизол крови, мкг%** | 11,5 | 10,5 | — | — | 13,5 |
| **Тироксин крови (Т4), мкг%** | 2,53 | 1,95 | — | — | 4,28 |
| **Тиреотропный гормон (ТТГ) крови, нг/мл** | 1,65 | 1,60 | — | — | 0,88 |
| **Билирубин общий, мг%** | 0,5 | 0,7 | — | — | 0,30 |



Таблица 72. **Выведение почками жидкости и электролитов**

| Время обследования | Диурез, мл | Натрий, мэкв | Калий, мэкв | Кальций, мэкв | Магний, мэкв | Осмотические вещества, мосм |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **А. А. Леонов** | | | | | | |
| До полета | | | | | | |
| 2—3.VII (12 суток) | 1050 | 366,0 | 148,0 | 24,7 | 20,5 | 947,1 |
| 11—12.VII (3 суток) | 1140 | 228,0 | 123,1 | 25,6 | 16,2 | 980,4 |
| После полета | | | | | | |
| 21—22.VII (0 сутки) | 695 | 69,6 | 44,5 | 13,0 | 7,76 | 608,9 |
| 22—23.VII (1 сутки) | 785 | 99,0 | 79,5 | 15,7 | 5,89 | 710,4 |
| **В. Н. Кубасов** | | | | | | |
| До полета | | | | | | |
| 2—3.VII (12 суток) | 860 | 176,0 | 75,3 | 8,8 | 12,1 | 817,0 |
| 11—12.VII (3 суток) | 840 | 157,5 | 76,5 | 14,9 | 11,2 | 768,6 |
| После полета | | | | | | |
| 21—22.VII (0 сутки) | 530 | 53,0 | 31,2 | 8,6 | 4,9 | 479,1 |
| 22—23.VII (1 сутки неполные) | 490 | 91,6 | 38,9 | 7,35 | 3,76 | 453,7 |

Таблица 73. **Концентрация электролитов (в мэкв/л) и осмотическая концентрация в сыворотке крови (мосм/л) у А. А. Леонова и В. Н. Кубасова до и после полета**

| Показатель | До полета | После полета | До полета | После полета |
|---|---|---|---|---|
| | А. А. Леонов | | В. Н. Кубасов | |
| **Натрий** | 143,5 | 138,0 | 143,5 | 138,0 |
| **Калий** | 5,1 | 4,6 | 4,6 | 4,6 |
| **Кальций** | 6,0 | 5,9 | 6,6 | 5,7 |
| **Магний** | 1,60 | 1,65 | 1,67 | 1,54 |
| **Осмотическая концентрация** | 296,0 | 298,0 | 295,0 | 299,0 |

в крови у здоровых людей и у данных космонавтов согласно предыдущим обследованиям.

Таким образом, существенных изменений водно-солевого обмена не отмечено. На основании имеющихся данных можно сделать вывод о том, что в течение 1—1,5 суток после 6-суточного полета происходит снижение выведения жидкости, натрия, калия, магния, осмотически активных веществ и в меньшей степени кальция. Эти данные согласуются с результатами исследований, проведенных после предшествующих полетов аналогичной продолжительности. По-видимому, эти изменения указывают на то, что по возвращении на Землю у космонавтов происходит ком-

пенсаторная задержка указанных выше веществ в ответ на увеличенное их выведение.

*Клинико-лабораторные исследования.* После полета у обоих космонавтов отмечено некоторое увеличение содержания гемоглобина и цветного показателя при одновременном снижении числа эритроцитов, нерезко выраженный лейкоцитоз, а со стороны формулы крови — некоторое увеличение сегментоядерных форм и уменьшение количества лимфоцитов. При анализе мочи существенных изменений не выявлено.

*Вестибулометрические исследования.* Вестибулометрические исследования по восприятию пространственных координат и переносимости адекватных раздражителей, проведенные на первые — четвертые сутки полета, выявили умеренно выраженные ошибки восприятия, особенно у В. Н. Кубасова, и несущественные по сравнению с фоновыми данными изменения вестибуло-вегетативных порогов при воздействии пробы КУК.

*Цитогенетические исследования.* Для проведения цитогенетического исследования у основного и дублирующего экипажей брали кровь в количестве 2 мл за 30 и 15 суток до начала эксперимента, через сутки после приземления кровь брали только у основного экипажа. Хромосомы изучали в лимфоцитах периферической крови после их кратковременного культивирования в питательной среде. «Посев» крови производили по микрометоду с модификациями. Применяли фитогемагглютинин фирмы «Welcome» (Англия). Клетки фиксировали 69—72 часа, включая 3—4-часовую инкубацию с колхицином. Концентрация колхицина составляла 0,5 мкг в 1 мл питательной среды. От каждого обследуемого анализировали по 100 клеток на стадии метафазы с числом хромосом не менее 44 и не более 47 ($43<2n>48$). Учитывали все наблюдавшиеся структурные повреждения хромосом, кроме генов. Статистическую обработку результатов производили по методу хи-квадрат.

Всего было проанализировано 1300 клеток на стадии метафазы. До начала эксперимента у основного и дублирующего экипажей было изучено 1100 метафазных клеток, среди которых обнаружено 33 аберрантные клетки. Структурные нарушения хромосом, наблюдавшиеся в клетках крови обследуемых до начала эксперимента, были представлены как хроматидным, так и хромосомным типами. Одиночные фрагменты составили 76,5% от общего числа нарушений, парные фрагменты — 17,6, дицентрики — 2,85, кольцевые хромосомы — также 2,85%.

После космического полета у основного экипажа было проанализировано 200 клеток на стадии метафазы, среди которых выявлено 7 клеток с аберрациями хромосом. После полета у космонавтов в клетках также наблюдались аберрации хроматидного и хромосомного типов. Одиночные фрагменты составили 48,2% от общего числа нарушений, парные фрагменты также 48,2%, хроматидный обмен (асимметричный полный) — 5,6%. Статистическая обработка результатов не показала достоверных различий по частоте аберраций хромосом у основного экипажа до и после полета.

Анализ частоты и типов структурных перестроек хромосом до космического полета показал, что средний уровень аберраций хромосом у обследуемых был выше, чем спонтанный уровень. Распределение различных типов аберраций в культурах лейкоцитов обследуемых также отличалось от спонтанного. Сходные данные были получены и ранее при обследованиях членов экипажей кораблей «Союз-3» и «Союз-17». В настоящее время нельзя точно указать причину повышенного уровня аберраций в фоне у обследуемых.



Результаты цитогенетического исследования лимфоцитов периферической крови после полета не выявили значительных отклонений по частоте аберраций хромосом от фона. Эти данные совпадают с результатами, полученными ранее при цитогенетическом обследовании космонавтов после кратковременных космических полетов на кораблях «Союз».

Таким образом, проведенные исследования показали, что у космонавтов после полета не возникало заметных изменений в хромосомах лимфоцитов периферической крови.

**Медико-биологические исследования.** Во время полета корабля «Союз-19» и после его завершения проводились и продолжают проводиться как совместные, так и односторонние исследования.

Совместных исследований было проведено два: это эксперименты «Микробный обмен» и «Зонообразующие грибки». К числу экспериментов, проводимых самостоятельно советской стороной, относятся следующие: «Рост микроорганизмов», «Эмбриональное развитие рыб» и «Генетические исследования».

Некоторые эксперименты были начаты еще до полета, продолжаются и сейчас и будут продолжаться в дальнейшем в лабораторных условиях. Поэтому в настоящем сообщении дано лишь общее описание перечисленных исследований и результатов их проведения в полете.

*«Микробный обмен».* Известно, что в основе механизма возникновения многих инфекционных заболеваний находится процесс передачи микроорганизмов, что в условиях космического полета процесс взаимообмена микроорганизмами между членами экипажа может иметь особенности, способствующие повышению интенсивности этого взаимообмена. Если учесть, что в этих условиях может осуществляться передача не только сапрофитических форм микробов, но и микробов (стафилококки, стрептококки и др.), способных вызывать заболевания членов экипажа, то становится очевидной необходимость проведения исследований механизма передачи микробов в кабине обитаемого космического корабля. Для этого во время совместного космического полета кораблей «Союз» и «Аполлон» советскими и американскими специалистами проводился эксперимент, получивший условное название «Микробный обмен». Основная цель этого эксперимента заключается в количественной оценке содержания, в сравнении и идентификации микрофлоры у членов экипажей и на внутренних поверхностях космических кораблей «Союз» и «Аполлон», а также в исследовании вероятных изменений иммунореактивности экипажей и патогенности различных микроорганизмов. Особенно важным при этом представлялось оценить характер взаимообмена микроорганизмами между экипажами во время их перехода, что позволит получить данные для научно обоснованных рекомендаций по разработке комплекса мероприятий для предотвращения заболеваний в длительном космическом полете.

Следует отметить, что исследования количественного и качественного состава аутомикрофлоры космонавтов и астронавтов проводились не только в период пред- и послеполетного обследований, но также и во время

полета. С этой целью в СССР были разработаны специальная аппаратура и способы сохранения микроорганизмов в течение времени, достаточного для доставки образцов микрофлоры из космоса на Землю.

В результате встреч советских и американских специалистов были согласованы методы первичного анализа материала, разделение ответственности сторон при проведении исследований, планы отчетов и порядок обмена специалистами, а также основные методы микробиологического анализа материала. Требования по подготовке эксперимента, касающиеся взаимных поставок полетного оборудования, были выполнены полностью.

Непосредственное осуществление работ по эксперименту «Микробный обмен» началось 20 мая 1975 г. с момента прибытия в лабораторию (СССР) доктора Д. Тейлора, являющегося ответственным исполнителем работ по эксперименту с американской стороны. Предполетные исследования космонавтов и астронавтов были выполнены полностью и в срок, предусмотренный согласованными между СССР и США документами.

Первичный анализ материала, полученного от космонавтов и астронавтов, производился совместно с присутствующими в СССР американскими специалистами. Помимо проведения первичного анализа, в задачу американских специалистов входило получение и транспортировка культур микроорганизмов, ответственность за идентификацию которых возложена на специалистов США. С 1 по 15 июля 1975 г. в США в г. Хьюстоне находился советский специалист, задачей которого являлось участие в подготовке американскими специалистами пробирок с консервантом для проведения предполетных и послеполетных обследований астронавтов, а также получение и подготовка к последующей транспортировке культур микроорганизмов, ответственность за идентификацию которых была возложена на специалистов СССР.

Во время полета при помощи специальной аппаратуры космонавты и астронавты произвели забор микрофлоры с различных участков своего тела, а также с внутренних поверхностей кораблей «Союз» и «Аполлон» в пробирки с консервирующей жидкостью. Пробирки с материалом, полученным во время полета, были доставлены в лаборатории СССР в запланированный срок. Для получения более полного представления о характере изменений микрофлоры космонавтов и астронавтов, а также на внутренних поверхностях космических кораблей забор микрофлоры во время и после полета проводили идентичной аппаратурой.

Послеполетные исследования микрофлоры космонавтов были выполнены на месте их приземления, на 7 сутки и на 15 сутки после посадки космического корабля «Союз-19». Полученный материал посеян на основные питательные среды. В настоящее время материал обрабатывается, осуществляется его первичный анализ и выделение культур микроорганизмов для последующей их идентификации советскими и американскими специалистами.

Эксперимент «Зонообразующие грибки» направлен на изучение влияния совокупности факторов космического полета на ритмы зонообразования у Пущинского штамма грибка из класса актиномицетов, что имеет важное значение для изучения особенностей протекания биоритмов в условиях невесомости.

В настоящее время многочисленными исследованиями показано, что характерная особенность функций всех биологических объектов — их ритмические колебания, представляющие собой форму движения живой материи. Помимо собственных колебаний, все функции имеют еще суточные или околосуточные (циркадианные) колебания с длительностью периода около 24 час.



Циркадианные колебания зависят не только от природы биообъектов, но и от циклических изменений факторов внешней среды, называемых датчиками времени.

Влияние естественных датчиков (времени изменения освещенности, температуры, влажности и т. д.) зависит от вращения Земли вокруг оси в электромагнитном поле Солнца и приводит к изменению существующего у данного организма периода колебательного ритма, который делается таким же, как период колебания датчиков времени. Циркадианные ритмы — это по сути дела отражение адаптации живых организмов к вращению Земли вокруг ее оси. Однако в условиях космического полета естественные датчики времени, связанные с вращением Земли вокруг своей оси, отсутствуют. Это требует создания на борту корабля своей системы датчиков.

Кроме того, состояние невесомости может также отразиться на протекании циркадианных ритмов.

Для выявления возникающих при этом сдвигов у живых систем и предназначен эксперимент с зонообразующими грибками. Выбор этого объекта для эксперимента в совместном полете обусловлен тем, что путем изменений условий среды, главным образом температуры, питательной среды и освещенности, грибку легко может быть навязан различный ритм зонообразования — от 1 до 10—12 суток.

В условиях космического полета на ритм зонообразования может оказывать влияние также локальный радиационный фактор (тяжелые и многозарядные частицы).

Для проведения эксперимента культуры грибка были синхронизированы с циркадианными ритмами в разных точках земной поверхности (СССР и США) со сдвигом на полфазы. На каждом корабле было установлено по два прибора с культурами грибков. Во время полета при первом переходе астронавтов в корабль «Союз» они доставили сюда один из приборов с культурой грибка, находившейся в корабле «Аполлон», и взамен перенесли один прибор с культурой грибка из корабля «Союз» в «Аполлон».

Экипажи фотографировали рост культуры грибков в полете.

Регистрация тяжелых ядерных частиц осуществлялась специальными индикаторами, помещенными в приборах с культурами грибка.

Ожидается, что этот эксперимент позволит лучше понять природу изменений, возникающих у биологических объектов под влиянием условий космического полета.

Предполагается также, что в ходе этого эксперимента представится возможность оценить влияние условий космического полета на физиологические механизмы основных биологических ритмов, обусловливающих скорость роста клеток и периодичность их функционирования и размножения. Все это позволит получить дополнительные данные о роли различных факторов в осуществлении биологических ритмов, в том числе в космических полетах.

После полета материал получен в хорошем состоянии.

Грибок растет в темноте, периодически его фотографируют. Через три дня после прекращения его роста контейнер будет вскрыт, и начнется детальное изучение его морфологии и другие исследования. По предварительной оценке отмечены различия в росте грибка как между образцами, летавшими на корабле «Союз» и на корабле «Аполлон», так и отличия от контрольных на Земле.

Целью эксперимента «Рост микроорганизмов» было изучение влияния факторов полета на скорость и характер размножения микроорганизмов, в качестве которых была использована культура протея обыкновенного. Внешний осмотр показал, что эксперимент выполнен удачно. По предварительным данным, существенных изменений по сравнению с контрольными образцами не отмечено. Однако предстоят еще дальнейшие наблюдения, детальный анализ материала.

Целью эксперимента «Эмбриональное развитие рыб» являлось изучение роста и развития водных животных в условиях невесомости. Были использованы аквариумные рыбки Данио Рерио. За 7 час. до старта была установлена оплодотворенная (на стадии 64 бластомеров) икра. Мальки на разных стадиях фиксируют, затем производят фотографирование, взвешивание, измерения размеров и анатомическое изучение материала. В возвращенном вкладыше-аквариуме обнаружена потеря некоторого количества воды, видимо, из-за неплотного закрытия крышки прибора. Эта неполадка, естественно, отрицательно сказалась на результатах эксперимента.

Целью эксперимента «Генетические исследования» было изучение влияния условий невесомости на клеточное деление, генетические структуры и радиочувствительность растений. Семена доставлены на Землю, посеяны, проростки на различных этапах роста фиксируют.

В данном сообщении представлены лишь общие сведения и основные данные медицинских исследований. Анализ полученных материалов еще не завершен, тем не менее можно сказать, что факторы космического полета при кратковременной экспедиции вызывали умеренные обратимые сдвиги функционального характера.

Изменения, выявленные на ЭКГ, в генезе которых, по-видимому, лежат изменения метаболического характера, еще нуждаются в дополнительном изучении. Важен также вопрос о патофизиологическом механизме начального периода адаптации, который наряду с определенными закономерностями несет в себе черты индивидуальности, присущие каждому индивидууму. В этой связи положительной оценки заслуживают усилия некоторых исследователей, пытающихся разработать систему специальных предполетных тренировок, направленных на смягчение неблагоприятного действия на организм перераспределения крови в условиях невесомости.

В целом состояние и работоспособность экипажа на всем протяжении полета были достаточно хорошими.

Запланированные совместные и односторонние медико-биологические эксперименты экипажем выполнены в полном объеме, и в настоящее время их результаты изучаются.

# ЛИТЕРАТУРА


Автоматы. 1956. Сб. под ред. Шеннона К. Э., Маккарти Дж. М., ИЛ.

**Агаджанян Н. А., Миррахимов, М. М.** 1970. Горы и резистентность организма. М., «Наука».

**Адольф Э.** 1952. Физиология человека в пустыне. М., ИЛ.

**Адонкин Ф. С.** 1963. Лабораторное дело, № 12, 12.

**Акулиничев И. Т., Антощенко, А. С., Значко В. А., Иванов А. Е., Лебедев В. И., Максимов Д. Г., Углов А. Е., Хлебников Г. Ф.** 1966. Сб. «Космические исследования», 4, вып. 2,311.

**Алексеева О. Г.** 1962. Сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 12. М., Изд-во АН СССР, стр. 63.

**Алексеева О. Г.** 1965. Сб. «Проблемы космической биологии», 4. М., «Наука», стр. 220.

**Аллик Т. А., Карпова Л. И.** 1967. Космическая биология и медицина, 1, № 3, 37.

**Алякринский Б. С.** 1971. Космическая биология и медицина, 5, № 2, 53.

**Ананьев Б. Г., Баккер Л. М., Ломов Б. Ф., Ярмоленко А. В.** 1959. Осязание в процессах познания и труда. М., Изд-во АПН РСФСР.

**Анашкин О. Д.** 1968. Космическая биология и медицина, 2, 2, 26.

**Аникеева И. Д., Ваулина Э. Н.** 1971. Космические исследования, 9, вып. 6, стр. 946.

**Анохин П. К.** 1963. Сб. «Биологические аспекты кибернетики». М., Изд-во АН СССР, стр. 63.

**Анохин П. К.** 1971. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. М., «Наука».

**Анохин П. К.** 1973. Сб. «Принципы системной организации функций». М., «Наука», стр. 5.

**Антиков В. В., Баевский Р. М., Газенко О. Г., Генин А. М.** 1962. Сб. «Проблемы космической биологии», 1. М., Изд-во АН СССР, стр. 267.

**Антипов В. В., Добров Н. Н., Саксонов П. П.** 1964. Сб. «Проблемы космической биологии», 3, М., «Наука», стр. 113.

**Антонец В. А., Баевский Р. М.** 1976. Сб. «Теоретические и прикладные аспекты анализа временной организации биосистем». М., «Наука», стр. 17.

**Антощенко А. С., Чекирда Н. Ф.** 1968. «Авиация и космонавтика», 10, 75.

**Аринчин Н. И.** 1961. Комплексное изучение сердечно-сосудистой системы. Минск.

**Арутюнов Г. А., Антуфьев Н. И., Воробьев А. И., Кузнецов М. И., Удалов Ю. Ф., Шибунеев А. Г.** 1962. Вопросы питания, № 4, 3.

**Арутюнов Г. А., Бычков В. П., Ушаков А. С.** 1961. Тезисы докладов сессии общего собрания отделения биологических наук АН СССР, посвященной некоторым итогам и проблемам исследований в области космической биологии. М., стр. 30.

**Архангельский А. Д.** 1934. Военно-санитарное дело, № 2, 15.

**Бабский Е. Б., Гурфинкель В. С., Ромель Э. Л., Якобсон Л. С.** 1952. Труды Центр. н.-и. ин-та протезирования и протезостроения, 4. М., стр. 31.

**Баевский Р. М.** 1972. Физиол. журн. СССР им. И. М. Сеченова, № 6, 8.

**Баевский Р. М.** 1974. Сб. «Адаптация и проблемы общей патологии». Новосибирск, стр. 44.

**Баевский Р. М., Жуков К. И.** 1964. Космические исследования, 2, вып. 6, 936.

**Балаховский И. С.** 1967. Материалы рабочего совещания по водно-солевому обмену, посвященного памяти академика Н. С. Сисакяна, 2. М., стр. 14.

**Балаховский И. С., Бахтеева В. Т., Беледа Р. В.** 1972. Космическая биология и медицина, 6, № 4, 68.

**Балаховский И. С., Васильев П. В., Касьян И. И., Попов И. Г.** 1966. Известия АН СССР, серия биол., № 2, 212.

**Балаховский И. С., Григорьев А. И., Длуская И. Г., Козыревская Г. И., Легеньков В. И., Наточин Ю. В., Сгибнев А. К., Шахматова Е. И., Орлова Т. А.** 1971. Космическая биология и медицина, 5, № 1, 37.

**Балаховский И. С., Наточин Ю. В.** 1973. Сб. «Проблемы космической биологии», 22. М., «Наука», стр. 89.

**Балаховский И. С., Наточин Ю. В. Козыревская Г. И.** 1974. Труды IV Международн. симп. «Человек в космосе», 1971, Ереван. М., «Наука», стр. 194.

**Барбашова З. И.** 1960. Акклиматизация к гипоксии и ее физиологические механизмы. М.— Л., Изд-во АН СССР.

**Барбашова З. И.** 1965. Физиол. журн. СССР им. И. М. Сеченова, № 5, 24.

**Барнацкий В. Н., Кузнецов А. Г.** 1966. Сб. «Проблемы космической медицины», 4, М., «Наука», стр. 56.

Белки, т. 1. 1956. Сб. под ред. Нейрата К., Бейли К. М.

**Беляев П. И., Леонов А. А., Попов В. А., Хачатурьянц Л. С., Философов В. К.** 1966. Сб. «Космические исследования», 4, вып. 1. М., Изд-во АН СССР, стр. 137.

**Бернштейн Н. А.** 1935. Исследования по динамике локомоций. М.— Л., Медгиз.

**Бернштейн Н. А.** 1947. О построении движений. М., Медгиз.

**Бернштейн Н. А.** 1966. Очерки физиологии движений и физиологии активности. М., «Медицина».

**Бехтерев В. М.** 1896. Значение органов равновесия в образовании представлений о пространстве. СПб.

**Бехтерева Н. П.** 1974. Нейрофизиологические аспекты психической деятельности человека. Л., «Медицина».

**Бизин Ю. П., Горбань Г. М.** 1966. Материалы 3-й Всесоюзн. конф. «Гигиена и токсикология высокомолекулярных соединений и химического сырья, используемого для их синтеза». Л., «Химия», стр. 39.

**Бизин Ю. П., Горбань Г. М.** 1969. Труды 3-й Всесоюзн. конф.«Авиационная и космическая медицина», 3, стр. 3. М.

Биологическое действие протонов высоких энергий. 1967. Сб. под. ред. Григорьева Ю. Г. М., «Атомиздат».

**Бирюков Е. Н., Какурин Л. И., Козыревская Г. И., Пак З. П., Чижов С. В.** 1967. Космическая биология и медицина. 1, № 2, 74.

**Бирюков Е. Н., Красных И. Г.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 6, 42.

**Бобков В. Г., Демин В. П., Кеирим-Маркус И.Б., Ковалев Е. Е., Ларичев А. В., Сакович В. А., Смиренный Л. Н., Сычков М. А.** 1964. Сб. «Радиационная безопасность при космических полетах». М., Атомиздат, стр. 42.

**Бобков И. М., Введенский С. С.** 1966. Лабораторное дело, № 9, 562.

**Боков А. Н.** 1969. Материалы 4-й Всесоюзн. конф. «Гигиена и токсикология высокомолекулярных соединений и химического сырья, используемого для их синтеза». М., «Химия», стр. 68.

**Бомбар А.** 1958. За бортом по своей воле (пер. с франц.). М., Гос. изд-во географ. лит-ры.

**Борискин В. В.** 1967. Материалы симп. «Биологические ритмы и вопросы разработки режимов труда и отдыха (20—21 июня 1967 г.)». М., стр. 18.

**Борискин В. В.** 1968. Материалы симп. по изучению особенностей сна и переходных состояний человека применительно к задачам и условиям космического полета (22—24 января 1968 г.). М., стр. 13.

**Бохов Б. Б., Фролова М. И.** 1966. Материалы конф. «Проблемы космической медицины». М., стр. 72.

**Бочков Н. П., Козлов В., М. Севанькаев А.В.** 1966. Генетика, № 10, 120.

**Браунштейн А. Е.** 1957. Вопросы питания, 16, № 5, 18.

**Бременер С. М.** 1966. Витамины и их клиническое применение. М., «Медицина».

**Бриккер В. Н.** 1965. Нарушения электролитного обмена при сердечно-сосудистых заболеваниях. Л., «Медицина».

**Брянов И. И.** 1963. Военно-медицинский журнал, № 11, 54.

**Брянов И. И., Чирков А. А., Яковлева И. Я.** 1973. Материалы VI симп. по космической биологии и медицине, г. Берлин, стр. 415.

**Брянов И. И., Юганов М. М., Яковлева И. Я., Аржанов И. М.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 6, 65.

**Бузник И. М.** 1956. Вопросы питания, № 2, 54.

**Бузник И. М.** 1970. Военно-медицинский журнал, № 10, 54.

**Бутусов А. А., Лямин В. Р., Лебедев А. А., Полякова А. П., Свистунов И. Б., Тишлер В. А., Шуленин А. П.** 1970. Космическая биология и медицина, 4,№ 6, 35.

**Бутченко Л. А.** 1963. Электрокардиография в спортивной медицине. М., «Медицина».

**Буянов П. В., Ковалев В. В., Терентьев В. Г.** 1966. Космические исследования, 4, вып. 1, 151.

**Быховский М. Л.** 1963. Сб. «Биологическая и медицинская электроника», № 3. М., стр. 3.

**Бычков В. П., Бойко Н. Н., Касаткина А. Г., Кондратьев Ю. И., Ушаков А. С.** 1966. Материалы конф. по космической биологии и медицине, 10—12 ноября 1964 г. М., стр. 2.

**Ванюшина Ю. В., Панферова Н. Е.** 1966. Физиол. журн. СССР им. И. М. Сеченова, № 9, 1058.

**Васильев П. В., Воскресенский А. Д., Касьян И. И.** 1965. Известия АН СССР, серия биол., № 4, 491.

**Васильева В. Е., Белина О. Н., Васильева Т. Д.** 1966. Сб. «Проблемы космической медицины». М., «Наука», стр. 92.

**Васюточкин В. М.** 1959. Военно-медицинский журнал, № 7, 50.

**Васюточкин В. М.** 1964. Материалы X съезда Всесоюзн. об-ва физиологов им. И. П. Павлова, т. 2, вып. 1. М.— Л., «Наука», стр. 147.

**Ваулина Э. Н., Аникеева И. Д., Губарева И. Г., Штраух Г. А.** 1971. Космические исследования, 5, вып. 2, 940.

**Ваулина Э. Н., Аникеева И. Д., Парфенов Г. П.** 1967. Известия АН СССР, серия биол., № 5, 285.

**Вейн А. М.** 1970. Бодрствование и сон. М., «Наука».

**Верников А. Н., Борщенко В. В.** 1974. Научные труды Академии Коммунального хозяйства, вып. 103, 41.



**Винников А. Я., Газенко О. Г., Титова Л. К.** 1972. Журн. эволюционной биохим. и физиол., 8, № 3, 363.

**Винников А. Я., Газенко О. Г., Титова Л. К., Бронштейн А. А.** 1963. Известия АН СССР, серия биол., № 2, 222.

**Винников А. Я., Газенко О. Г., Титова Л. К., Бронштейн А.А., Цирулис Т.П., Певзнер Р.А., Говардовский В. И., Грибалкин Ф. Г., Иванов В. П., Пронова М. З., Чехонадский И. П.** 1971. Сб. «Проблемы космической биологии», 12. М., «Наука», стр. 5.

**Виноградов А. П.** 1938. Докл. АН СССР, 18, № 4—5, 283.

**Войнар А. О.** 1953. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М., «Медицина».

**Волынкин Ю. М., Антипов В.В., Давыдов Б. И., Добров Н. Н., Никитин М. Д., Писаренко Н. Ф., Саксонов П. П.** 1966. Космические исследования, 4, вып. 4, 630.

**Волынкин Ю. М., Парин В. В., Антипов В. В., Гуда В. А., Добров Н. Н., Никитин М. Д., Саксонов П. П.** 1964. Радиобиология, 4, № 3, 344.

**Волынкин Ю. М., Парин В. В., Яздовский В. И.** 1962. Сб. «Проблемы космической биологии», 2, М., Изд-во АН СССР, стр. 7.

Вопросы гигиены питания. 1964. Сб. под ред. Будагяна Д. Е. М.

**Воробьев Е. И., Гецелев И. В., Григорьев Ю. Г.** 1969. Космическая биология и медицина, 1, № 4, 24.

**Воробьев Е. И., Егоров А. Д., Какурин Л. И., Нефедов Ю. Г.** 1970а. Космическая биология и медицина, 4, № 6, 26.

**Воробьев Е. И., Нефедов Ю. Г., Какурин Л.И., Егоров А. Д., Свистунов И. Б.** 1970б. Космическая биология и медицина, 4, № 2, 65.

**Воробьев Е. И., Нефедов Ю. Г., Какурин Л. И., Егоров Б. Б., Егоров А. Д., Зеренин А. Г., Козыревская Г. И.** 1969. Космическая биология и медицина, 3, № 4, 46.

**Воскресенский А. Д., Вентцель М. Д.** 1974. Статистический анализ сердечного ритма и показателей гемодинамики. М., «Наука».

**Воскресенский Н. А., Макарова Т. И., Мартемьянова К. В.** 1954. Труды ВНИРО, 29, 63.

**Вотчал Б. Е.** 1967. Сб. «Современные проблемы физиологии и патологии сердечно-сосудистой системы». М., «Медицина», стр. 42.

**Воячек В. И.** 1946. Военная оториноларингология. М., Медгиз.

Второй групповой космический полет и некоторые итоги полетов советских космонавтов на кораблях «Восток». 1965. Сб. под ред. Сисакяна Н. М. М., «Наука».

**Гагарин Ю. А., Лебедев В. В.** 1971. Психология и космос. М., «Молодая гвардия».

**Гаевская М. С., Слез Л. М., Илюшко Н. А.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 4, 25.

**Газенко О. Г.** 1962. Вестник АН СССР, № 1, 30.

**Газенко О. Г.** 1964. Материалы III Международн. симп. по биоастронавтике и исследованию космического пространства. Сан-Антонио, США, 11—16 апреля 1964 г., стр. 15.

**Газенко О. Г.** 1968. Сб. «Успехи СССР в исследовании космического пространства». М., «Наука», стр. 321.

**Газенко О. Г., Алякринский Б. С.** 1970. Вестник АН СССР, № 11, 40.

**Газенко О. Г., Баевский Р. М., Волков Ю. Н., Воскресенский А. Д., Нидеккер И. Г.** 1969. Сб. «Проблемы вычислительной диагностики». Л., стр. 7.

**Газенко О. Г., Генин А. М., Яздовский В. И.** 1961. Сессия общего собрания биол. отделения АН СССР, посвященная некоторым итогам и проблемам в области космической биологии. Тезисы докладов. М., стр. 4.

**Газенко О. Г., Гюрджиан А. А.** 1965. Материалы XI ежегодного съезда Американского астронавтического об-ва. Чикаго, США, 4—7 мая 1965 г., стр. 20.

**Газенко О. Г., Гюрджиан А. А., Парин В. В.** 1967. Сб. «Проблемы космической биологии», 4. М., «Наука», стр. 22.

**Газенко О. Г., Яздовский В. И., Черниговский В. Н.** 1967. Сб. «Проблемы космической биологии», 4. М., «Наука», стр. 285.

**Гайдамакин Н. А., Петрухин В. Г.** 1966. Известия АН СССР, серия биол., № 3, 346.

**Гайтон А.** 1969. Физиология кровообращения. Минутный объем сердца и его регуляция (пер. с англ.). М., «Медицина».

**Галкин А. М., Горлов О. Г., Котова А. Р.** 1958. Сб. «Предварительные итоги научных исследований с помощью первых советских искусственных спутников Земли и ракет», № 1. М., Изд-во АН СССР, стр. 18.

**Гарина К. П., Романова Н. И.** 1970. Космические исследования, 8, вып. 1, 96.

**Гельфанд И. М., Цетлин М. Л.** 1962. Успехи математических наук, 17, № 1, 25.

**Гельфанд И. М., Цетлин М. Л.** 1964. Сб. «X съезд Всесоюзного физиологического общества им. И. П. Павлова», т. 1. М.— Л., стр. 41.

**Генин А. М., Гуровский Н. Н., Емельянов М. Д.** 1962. Человек в космосе. М., Медгиз.

**Генин А. М., Пестов И. Д.** 1974. Материалы IV Международн. симп. «Человек в космосе». Ереван, 1971 г. М., стр. 41.

**Генин А. М., Сорокин П. А.** 1969. Сб. «Проблемы космической биологии», 13, М., «Наука», стр. 9.

**Генин А. М., Сорокин П. А., Гурвич Г. И.** 1969. Сб. «Проблемы космической биологии», 13. М., «Наука», стр. 247.

Гигиена питания. 1971. Сб. под ред. Петровского К. С. М., «Медицина».

**Гинецинский А. Г.** 1963. Физиологические механизмы водно-солевого равновесия. М.— Л., «Наука».

**Гиттер А., Хейльмейер Л.** 1966. Справочник по клиническим функциональным исследованиям. М., «Медицина», стр. 358.

**Горбань Г. М., Соломин Г. И.** 1972. Сб. «Медико-технические проблемы индивидуальной защиты», вып. 10. М., «Медицина», стр. 39.

**Горбань Г. М., Сопиков Н. Ф., Соломин Г. И.** 1972. Тезисы докл. V Всесоюзн. конф. «Космическая биология и авиакосмическая медицина», т. 1. Калуга. М., стр. 188.

**Горбов Ф. Д.** 1962. Пароксизмы при непрерывной деятельности. Докт. дисс. М.

**Гордон Л. А., Клопов Э. В.** 1972. Человек после работы. Социальные проблемы быта и внерабочего времени. М., «Наука».

**Горнаго В. А.** 1971. Сб. «Актуальные вопросы космической биологии и медицины». М., стр. 97.

**Городинский С. М., Семененко Э. И., Газиев Г. А., Костерина Е. И., Шевкун О. Н.** 1969. Труды III Всесоюзн. конф. «Авиационная и космическая медицина», т. 3. М., стр. 10.

**Грейбил Э.** 1975. Сб. «Основы космической биологии и медицины», т. 2. М., «Наука», стр. 265.

**Григорьев А. И.** 1972. Физиол. журн. СССР им. И. М. Сеченова, 58, № 6, 828.

**Григорьев А. И., Козыревская Г. И.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 5, 55.

**Григорьев Г. Н.** 1972. Вестник оториноларингологии, № 3, 102.

**Григорьев Ю. Г., Ковалев Е. Е., Правецкий В. Н.** 1967. Космическая биология и медицина, 1, № 2, 3.

**Григорьев Ю. Г., Рыжов Н. И., Попов В. И., Дербенева Н. Н., Сычков М. А.** 1969. Космическая биология и медицина, 3, № 5, 38.

**Гудзь П. З.** 1972. Сб. «Приспособительная перестройка структур организма как материальная основа в спорте», т. 1. М., стр. 41.

**Гурвич Г. М., Марищук В. Л., Тищенко М. И., Ефименко Г. Д., Хвойной Б. С.** 1967. Космическая биология и медицина, 1, № 4, 73.

**Гуровский Н. Н.** 1966. Сб. «Космическая биология и медицина». М., стр. 445.

**Гуровский Н. Н., Емельянов М. Д., Карпов Е. А.** 1965. Сб. «Проблемы космической биологии», 4. М., «Наука», стр. 10.

**Гуровский Н. Н., Еремин А. В., Газенко О. Г., Егоров А. Д., Брянов И. И., Генин А. М.** 1975. Космическая биология и авиакосмическая медицина, 9. № 2, 48.

**Гуровский Н. Н., Коротаев М. М., Крупина Т. Н., Яковлева И. Я.** 1969. Труды III Всесоюзн. конф. «Авиационная и космическая медицина». М.

**Гуровский Н. Н., Коротаев М. М., Мацнев Э. И., Тизул А. Я.** 1973. Гагаринские чтения. М., стр. 107.

**Гуровский Н. Н., Крупина Т. Н.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 6, 3.

**Гурфинкель В. С., Коц Я. М., Шик М. Л.** 1965. Регуляция позы человека. М., «Наука».

**Давыдов Б. И., Коннова Н. И.** 1964. Материалы X Всесоюзн. конф. физиол. об-ва им. И. П. Павлова, 2, вып. 1. М.— Л., стр. 247.

**Данилин И. И.** 1955. Сб. «Актуальные вопросы переливания крови», вып. 4. Л., стр. 223.

**Данилин И. И.** 1967. Лабораторное дело, № 12, 730.

**Данишевский С. Л., Бройтман А. Я.** 1966. Журн. Всесоюзн. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева, 11, № 3, 303.

**Дегтярев В. А.** 1973. Космическая биология и медицина, 7, № 4, 67.

**Дервиз Г. В., Воробьев А. И.** 1959. Лабораторное дело, № 3, 3.

**Длусская И. Г., Виноградова Л. А., Носков Б. В., Балаховский И. С.** 1973. Космическая биология и медицина, 7, № 3, 43.

**Дорман Л. И.** 1963. Вариации космических лучей и исследование космоса. М., Изд-во АН СССР.

**Дубинина Л. Г., Черникова О. П.** 1970. Космические исследования, 8, вып. 1, 156.

**Дудкин В. Е., Ковалев Е. Е., Кузнецов В. Г., Смиренный Л. Н.** 1967. Сб. «Биологическое действие протонов высоких энергий». М., Атомиздат, стр. 8.

**Дудкин В. Е., Ковалев Е. Е., Смиренный Л. Н., Сычков А. В.** 1964. Сб. «Вопросы дозиметрии и защиты от излучений», вып. 3. М., Атомиздат, стр. 174.

**Дудкин В. Е., Ковалев Е. Е., Смиренный Л. Н., Сычков М. А.** 1964. Сб. «Вопросы дозиметрии и защиты от излучений», вып. 3, М., Атомиздат, стр. 168.

**Егоров П. И., Михайловский Г. П., Коротаев М. М., Беневоленская Т. В., Боглевская Н. М., Крупина Т. Н., Маслов И. А., Петрова Т. А., Яковлева И. Я.** 1967. Космическая биология и медицина, 1, № 1, 75.

**Елисеев В. Г.** 1961. Соединительная ткань. М., «Медицина».

**Емельянов М. Д.** 1966. Сб. «Проблемы космической медицины». М., «Наука», стр. 164.

**Емельянов М. Д.** 1968. Сб. «Физиология вестибулярного анализатора». М., «Наука», стр. 5.

**Емельянов М. Д., Кузнецов А. Г.** 1962. Вестник оториноларингологии, № 3, 63.

**Емельянов М. Д., Разумеев А. Н.** 1972. Космическая биология и медицина, № 2, 55.

**Емельянов М. Д., Юганов Е. М.** 1962. Материалы симп. «Основные проблемы жизни человека в космическом пространстве», № 3, Париж.





**Еремин А. В., Колосов И. А., Касьян И. И., Копанев В. И., Хлебников Г. Ф.** 1965. Авиация и космонавтика, № 11, 27.

**Ефимов В. И., Антипов В. В., Лосев А. А., Маркарян С. С., Суслова Л. Н., Котовская А. Р., Сидельников И. А., Вартбаронов Р. А., Давыдов Б. И., Васин Н. В.** 1972. Материалы V симп. по космической биологии и медицине, Варшава, стр. 55.

**Ефимов В. И., Рогозкин В. Д., Давыдов С. А., Суслова Л. Н., Маханькова Н. Г., Медведева З. А., Кузьмин М. П., Анантьев Г. И., Нестерова В. И.** 1969. Труды III Всесоюзн. конф. «Авиационная и космическая медицина», т. 1, М., стр. 230.

**Ефремов В. В.** 1964. Вестник АМН СССР, № 5, 31.

**Ефуни С. Н., Михайлов Ю. Е.** 1969. Космическая биология и медицина, 3, № 5, 14.

**Жданова А. Г.** 1962. Сб. «Международная научно-методическая конференция по проблемам спортивной тренировки». М., стр. 41.

**Жуков-Вережников Н. Н., Волков М. Н., Губерниев М. А., Рыбаков Н. И., Антипов В. В.** 1968. Космические исследования, 2, вып. 1, 144.

**Жуков-Вережников Н. Н., Волков М. Н., Майский И. Н., Рыбаков Н. И., Саксонов П. П.** 1971. Космические исследования, 9, вып. 2, 292.

**Залогуев С. Н., Шинкарева М. М., Уткина Т. Г.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 4, 54.

**Зараковский Г. М., Рысакова С. Л.** 1972. Космическая биология и медицина, 6, 3, 67.

**Зимкин Н. В.** 1958. Труды Краснознаменного военного ин-та физкультуры и спорта им. В. И. Ленина, 20, 20.

**Зюков А. М.** 1929. Физиология и патология. Харьков.

Интегративная деятельность нервной системы. 1969. Сб. под ред. Шеррингтона У. М., «Наука».

**Иоффе Л. А., Куколевский Г. М.** 1968. Сб. «Сердце и спорт». М., «Медицина», стр. 6.

**Иоффе Л. А., Стойда Ю. М.,** 1968. Сб. «Физиологические проблемы детренированности». М., стр. 78.

**Кадыков Б. И.** 1959. Проблема жира и питания. М., «Медицина».

**Казначеев В. П.** 1973. Биосистема и адаптация. Новосибирск.

**Какурин Л. И.** 1968. Космическая биология и медицина, 2, № 2, 59.

**Какурин Л. И.** 1972. Вестник АН СССР, № 2, 30.

**Какурин Л. И.** 1973. Космическая биология и медицина, 7, № 5, 60.

**Какурин Л. И., Григорьев А. И., Козыревская Г. И.** 1973. Труды XXIV Международн. астронавтического конгресса. Баку, стр. 199.

**Какурин Л. И.; Катковский Б. С.** 1966. Сб. «Физиология человека и животных». М., «Наука», стр. 6.

**Какурин Л. И., Катковский Б. С., Мачинский Г. В., Пометов Ю. Д., Смирнова Г. И.** 1970. Сб. «Физиологические проблемы детренированности». М., стр. 121.

**Какурин Л. И., Лебедев А. А.** 1974. Труды IV Международн. симп. «Человек в космосе», 1971, Ереван. М., «Наука», стр. 34.

**Какурин Л. И., Первушин В. И., Черепахин М. А.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 5, 64.

**Какурин Л. И., Черепахин М. А., Первушин В. И.** 1971. Космическая биология и медицина, 5, 6, 53.

**Какурин Л. И., Шумаков В. И., Катков В. Е., Куваев А. Е.** 1973. Космическая биология и медицина, 7, 5, 60.

**Калин Г. С., Терентьев В. Г., Береговкин А. В., Калиниченко В. В.** 1973. Космическая биология и медицина, 7, № 5, 60.

**Калинина К. Г., Кожанова Т. Я., Пененжик М. А., Вирник А. Д., Савинич Ф. К., Борщенко В. В., Шумилина А. Г., Зарубина К. В.** 1975. Крашение и отделка тканей, № 5,5.

**Калиниченко В. В., Горнаго В. А., Мачинский Г. В., Жегунова М. П., Пометов Ю. Д., Катковский Б. С.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 6, 68.

**Калуженко Р. К., Митропольский А. Н.** 1969. Материалы конф. «Акклиматизация человека в условиях полярных районов». Л., стр. 81.

**Калиновская И. Я.** 1973. Сб. «Стволовые вестибулярные синдромы». М., стр. 81.

**Капланский С. Я.** 1938. Минеральный обмен. М.— Л., Медгиз.

**Карандаева В. П.** 1963. Вопросы питания, № 6, 12.

**Карпман В. Л.** 1965. Фазовый анализ сердечной деятельности. М., «Медицина».

**Кассирский И. А., Алексеев Г. А.** 1955. Клиническая гематология. М.— Л., Медгиз.

**Касьян И. И., Копанев В. И., Яздовский В. И.** 1968. Сб. «Медико-биологические исследования в невесомости». М., «Наука», стр. 52.

**Касьян И. И., Юганов Е. М., Львова Т. С.** 1962. Сб. «Проблемы космической биологии», 1, М., Изд-во АН СССР, стр. 161.

**Катковский Б. С., Мачинский Г. В., Томан П. С., Данилова В. И., Демида Б. Ф.** 1974. Космическая биология и медицина, 8, № 4, 43.

**Катковский Б. С., Пометов Ю. Д.** 1971. Космическая биология и медицина, 5, № 3, 69.

**Катковский Б. С., Пометов Ю. Д.** 1975. Материалы XVIII Совещания КОСПАР, г. Варна, Болгария, 29 мая — 7 июня 1975 г., 5, вып. 2, 360.

**Киселев Р. К., Балаховский И. С.** 1975. Лабораторное дело, № 9, 519.

**Ковалев Е. Е.** 1967. Сб. «Вопросы дозиметрии и

защиты от излучения», вып. 7. М., Атомиздат, стр. 24.

**Ковалев Е. Е.** Материалы XXIV Международн. конгресса Международн. астронавтической федерации, 7—13 октября 1973, Баку, стр. 37.

**Козеренко О. П., Мясников В. И., Рудометкин Н. М.** 1975. Материалы сессии «Нагрузки» Румынского национального физиологического конгресса, Бухарест, стр. 22.

**Козыревская Г. И.** 1967. Космическая биология и медицина, 1, № 2, 17.

**Козыревская Г. И., Григорьев А. И., Дорохова Б. Р.** 1974. Материалы IV Всесоюзн. конф. по водно-солевому обмену и функции почек. Черновцы, стр. 148.

**Козыревская Г. И., Колоскова Н. Н., Ситникова Н. Н., Чижов С. В.** 1966. Материалы конф. «Проблемы космической медицины», стр. 213.

**Козыревская Г. И., Наточин Ю. В., Григорьев А. И., Журавлева Е. Н., Шахматова Е. И.** 1972. Труды IV Всесоюзн. конф. по космической биологии и авиакосмической медицине, т. 1. Калуга, стр. 259.

**Коломийцева М. Г.** 1964. Вопросы рационального питания. Киев.

**Комендантов Г. Л., Андроник К. К., Забутый М. Б., Копанев В. И.** 1972. Космическая биология и медицина, 2, 205.

**Комендантов Г. Л., Копанев В. И.** 1962. Сб. «Проблемы космической биологии», 2. М., Изд-во АН СССР, стр. 80.

**Комендантов Г. Л., Копанев В. И.** 1963. Вестник оториноларингологии, № 1, 18.

**Комендантов Г. Л., Пименева К. А., Чиркин М. Д.** 1969. Научные труды Киргизского мед. ин-та, **60**, 73.

**Копанев В. И.** 1970. Военно-медицинский журнал, № 10, 62.

**Коржуев П. А.** Сб. «Авиационная и космическая медицина». М., стр. 284.

**Коробков А. В.** 1962. Труды Краснознамен. военного фак-та физкультуры и спорта при ГОЛИФК им. П. Ф. Лесгафта. Л., стр. 5.

**Коробков А. В.** 1963. Сб. «Авиационная и космическая медицина», М., стр. 287.

**Коробков А. В.** 1966. Сб. «Проблемы космической медицины». М., стр. 22.

**Коротько Г. Ф., Ислямова М. Э.** 1963. Сборник научных трудов Андижанского гос. мед. ин-та, 4, 114.

**Котовская А. Р., Какурин Л. И., Симпура С. Ф., Гришина И. С.** 1964. Тезисы трудов 10-го Всесоюзн. съезда физиологов, 2, Ереван, стр. 421.

**Котовская А. Р., Юганов Е. М.** 1962. Сб. «Проблемы космической биологии»., 1. М., Изд-во АН СССР, стр. 384.

**Кремер Ю. Н.** 1965. Биохимия белкового питания. Рига. «Зинатне».

**Кроль М. Б.** 1936. Невропатологические синдромы. М.— Л.

**Крупина Т. Н.** 1970. Сб. «Адаптация к мышечной деятельности и гипокинезия». Новосибирск, стр. 96.

**Крупина Т. Н., Гуровский Н. Н., Михайловский Г. П.** 1969. Материалы III Всесоюзн. конф. по авиационной и космической медицине, т. 2. М., стр. 7.

**Крупина Т. Н., Федоров Б. М.** 1971. Космическая медицина, **5**, № 2, 76.

**Кудряшов Б. А.** 1948. Биологические основы учения о витаминах. М., «Медицина».

**Кузнецов О. Н., Лебедев В. И.** 1972. Психология и психопатология одиночества. М., «Медицина».

**Куколевская Е. В.** 1969. Сб. «Медицинские проблемы исследования и управления тренированностью спортсменов». М., стр. 53.

**Куколевская Е. В., Косякова Н. В.** 1969. Сб. «Авиационная и космическая медицина». М., стр. 23.

**Куликовский Г. Г.** 1939. Вестибулярная тренировка летчика. М., Медгиз.

**Кульский Л. А.** 1963. Сб. «Основы технологии кондиционирования воды». Киев, стр. 2.

**Курашвили А. Е., Бабияк В. И.** 1974. Космическая биология и авиакосмическая медицина, 8, № 2, 42.

**Кусто Ж.-И., Даген Д.** 1966. Живое море (пер. с франц.). М., «Знание».

**Кустов В. В., Тиунов Л. А.** 1969. Сб. «Токсикология продуктов жизнедеятельности и их значение в формировании искусственной атмосферы герметизированных помещений». М., «Наука», стр. 84.

**Лебедева И. П.** 1969. Материалы III научн. конф. молодых специалистов Ин-та медико-биологических проблем, стр. 30.

**Лебединский А. В., Левинский С. В., Нефедов Ю. Г.** 1966. Материалы конф. по космич. биол. и мед., 3.

**Легеньков В. И.** 1974. Динамика показателей периферической крови у космонавтов в процессе профессиональной подготовки и в космическом полете. Канд. дисс. М.

**Легеньков В. И., Балаховский И. С.** 1971. Космическая биология и медицина, **5**, № 1, 37.

**Легеньков В. И., Балаховский И. С.** 1973. Космическая биология и медицина, **7**, № 1, 37.

**Лейтес С. М.** 1937. Физиология и патофизиология жирового обмена. Харьков.

**Липовский С. М.** 1964. Сб. «Актуальные вопросы гастроэнтерологии». Л., стр. 109.

**Лисичкин В. А.** 1972. Теория и практика прогностики. М., «Наука».

**Литвак Л. Б.** 1940. Рефлексы статической адаптации и статика в неврологической клинике. Докт. дисс. Харьков.

**Литвак Л. Б.** 1941. Статика и статическая координация. Харьков.



**Лицов А. Н.** 1969. Космическая биология и медицина 3, № 4, 59.

**Лицов А. Н.** 1972. Известия АН СССР, серия биол., № 6, 836.

**Лозанов Н. Н.** 1938. Физиологические компоненты вестибулярной реакции. Уфа. Башгосиздат.

**Лопухин В. Я.** 1970. Статокинетическая устойчивость спортсменов и ее повышение средствами плавания. Автореф. канд. дисс. М.

**Лопухин В. Я., Копанев В. И.** 1967. Теория и практика физической культуры, № 6, 24.

**Лофтус Д., Боунд Р., Паттон Р.** 1975. Сб. «Основы космической биологии и медицины», 2, кн. 2. М., «Наука», стр. 198.

**Лукин А. А., Парфенов Г. П.** 1971. Космическая биология и медицина, 5, № 6, 8.

**Лукомская Н. Я., Никольская М. И.** 1971. Изыскание лекарственных средств против укачивания. Л., «Наука».

**Лурия А. Р.** 1973. Основы нейропсихологии. Изд-во МГУ.

**Магнус Р.** 1962. Установка тела. М., Изд-во АН СССР.

**Марищук В. Л.** 1967. Сб. «Психологические вопросы спортивной тренировки». М., «Физкультура и спорт», стр. 25.

**Маркарян С. С.** 1965. Известия АН СССР, № 2, 37.

**Маркарян С. С., Сидельников И. А.** 1970. Журнал ушных, носовых и горловых болезней, № 4, 24.

**Медведев В. П.** 1972. Кардиология, № 8, 130.

**Медведева Н. В.** 1955. Нормальная и патологическая физиология жирового и липидного обмена. Киев, Изд-во АН УССР.

Международные стандарты питьевой воды. 1964. Всемирная организация здравоохранения. Женева.

**Мельников Л. Н.** 1972. Космическая биология и медицина, **6**, № 1, 74.

**Миллер Дж., Галантер Ю., Прибрам К.** 1965. Планы и структура поведения. М., «Прогресс».

**Миронова Н. И.** 1974. Влияние повышенных концентраций кислорода во вдыхаемом воздухе на эритро- и лейкопоэз. Канд. дисс. М.

**Могендович М. Р.** 1965. Материалы научн. конф. по проблеме физиология и патология кортико-висцеральных взаимоотношений и функциональных систем организма, т. 2. Иваново, стр. 59.

**Молчанов Н. С., Крупина Т. Н., Баландин В. А.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 6, 39.

**Молчанова О. П.** 1938. Вопросы питания, 7, № 1, 20.

**Молчанова О. Ц.** 1967. Вестник АМН СССР, 8, 40.

**Москаленко Ю. Е., Вайнштейн Г. Б., Касьян И. И.** 1971. Внутричерепное кровообращение в условиях перегрузок и невесомости. М., «Медицина».

**Мчедлишвили Г. И.** 1968. Функция сосудистых механизмов головного мозга. М., «Медицина».

**Мясников В. И., Козеренко О. П., Рудометкин Н. М.** 1975. Материалы XVIII сессии КОСПАР, Варна, стр. 29.

**Наточин Ю. В., Соколова М. М., Васильева В. Ф., Балаховский И. С.** 1965. Космические исследования, **3**, вып. 6, 935.

**Нефедов Ю. Г., Воробьев Е. И., Гуровский Н. Н., Егоров А. Д., Егоров Б. Б., Какурин Л. И.** 1969. Сб. «Авиационная и космическая медицина». М., стр. 173.

**Нефедов Ю. Г., Залогуев С. Н., Борщенко В. В., Шилов В. М.** 1966. Сб. «Проблемы космической медицины». М., стр. 286.

**Нефедов Ю. Г., Залогуев С. Н., Викторов А. Н.** 1975. Космическая биология и авиакосмическая медицина, **9**, № 4, 19.

**Новикова А. В., Пак З. П.** 1973. Сб. «Водоподготовка и очистка промышленных стоков», вып. 10. Киев, стр. 72.

**Нуждин Н. И., Дозорцева Р. Л.** 1972. Журн. общей биологии, **33**, № 3, 336.

**Орлов В. В.** 1961. Плетизмография (методы и применение в экспериментальных и клинических исследованиях). М.— Л., «Медицина».

**Орлова Т. А.** 1970. Комплексный микрохимический анализ крови и его применение в авиационной и космической медицине. Канд. дисс. М.

**Освальд И.** 1969. Журн. невропатологии и психиатрии им. С. С. Корсакова, **69**, № 7, 1035.

**Павлов И. П.** 1940. Полное собрание трудов, т. 1, М.— Л., Изд-во АН СССР.

**Пак З. П., Козыревская Г. И., Григорьев А. И., Колоскова Ю. С., Безумова Ю. С., Бирюков Е. Н.** 1973. Космическая биология и медицина, **7**, № 4, 56.

**Пак З. П., Петина В. Л.** 1973. Сб. «Водоподготовка и очистка промышленных стоков», вып. 10. Киев, стр. 78.

**Пак З. П., Ситникова Н. Н., Колоскова Ю. С.** 1972. Всесоюзн. конф. по авиационной медицине, т. 1. Калуга, стр. 216.

**Панов А. Г., Лобзин В. С.** 1968. Материалы симпозиума по изучению особенностей сна и переходных состояний человека применительно к задачам и условиям космического полета. М., стр. 75.

**Панов А. Г., Лобзин В. С., Белянкин В. А.** 1969. Сб. «Проблемы космической биологии», **13**. М., «Наука», стр. 133.

**Панферова Н. Е.** 1967. Сб. «Новое в физиологии и патологии моторно-висцеральных рефлексов». Пермь, стр. 130.

**Панферова Н. Е., Ванюшина Ю. А., Баранов А. А.** 1968. Сб. «Физиологические проблемы детренированности». М., стр. 98.

**Панферова Н. Е., Тишлер В. А., Салманов Л. П., Дзедзичек В. П., Латова Ю. В., Попова Т. Г.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 6, 78.

**Парин В. В.** 1963. Сб. «Авиационная и космическая медицина». М., стр. 387.

**Парин В. В.** 1965. Вестник Академии наук СССР, № 6, 5.

**Парин В. В.** 1969. Сб. «Философские проблемы биокибернетики». М., стр. 12.

**Парин В. В., Баевский Р. М.** 1968. Сб. «Математические методы анализа сердечного ритма». М., «Наука», стр. 3.

**Парин В. В., Баевский Р. М., Волков Ю. Н., Газенко О. Г.** 1967. Космическая кардиология. Л., «Медицина».

**Парин В. В., Баевский Р. М., Газенко О. Г.** 1965. Кардиология, 5, № 3, 3.

**Парин В. В., Газенко О. Г., Яздовский В. Н.** Вестник АМН СССР. 1962. 4, 32.

**Парин В. В., Крупина Т. Н.** 1970. Сб. «Адаптация к мышечной деятельности и гипокинезия». Новосибирск, стр. 134.

**Парин В. В., Правецкий В. Н.** 1968. Космическая биология и медицина, 2, № 2, 7.

Первые космические полеты человека. 1962. Сб. под ред. Сисакяна Н. М., Яздовского В. И. М., Изд-во АН СССР.

Первый групповой космический полет. 1964. Сб. под ред. Сисакяна Н. М., Яздовского В. И. М., Изд-во АН СССР.

**Перетц Л. Г.** 1955. Значение нормальной микрофлоры для организма человека. М., Медгиз.

**Перетц Л. Г.** 1962. Руководство по микробиологии инфекционных болезней, т. 1. М., Медгиз, стр. 659.

**Пестов И. Д.** 1968. Материалы XIX Медицинского астронавтического конгресса, Нью-Йорк, 16—18 октября 1968. М., стр. 14.

**Петров Ю. А.** 1975. Сб. «Основы космической биологии и медицины», т. 3. М., Изд-во «Наука», стр. 165.

**Петрухин В. Г.** 1962. Сб. «Проблемы космической биологии», 2. М., Изд-во АН СССР, стр. 128.

**Петрухин В. Г.** 1966. Патологическая анатомия и патогенез изменений, вызванных действием некоторых факторов космического (орбитального) полета (экспериментальное исследование). Автореф. докт. дисс. М.

**Петухов Б. Н., Пурахин Ю. Н., Георгиевский В. С., Михайлов В. М., Смышляева В. В., Фатьянова Л. И.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 6, 50.

**Пиралишвили И. С.** 1962. Лабораторное дело, № 3, 20.

**Покровский А. А.** 1964. Вестник АМН СССР, № 5, 3.

**Покровский А. А.** 1966. Вестник АМН СССР, № 10, 3.

**Покровский А. А.** 1967. Вопросы питания, № 5, 42.

**Пометов Ю. Д., Катковский Б. С.** 1972. Космическая биология и медицина, 6, № 4, 39.

**Помогайло Л. А., Онушраш А. И.** 1968. Сб. «Вопросы морфологии, микробиологии, физиологии, биохимии в авиационной медицине». М., Изд. Центральн. ордена Ленина ин-та усовершенствования врачей, стр. 27.

**Попов И. Г.** 1966. Материалы XVI научной сессии Ин-та питания АМН СССР. М., стр. 138.

**Португалов В. В., Газенко О. Г., Ильина-Кукуева Е. И.** 1967. Космическая биология и медицина, 1, № 6, 18.

**Португалов В. В., Ильина-Кукуева Е. И., Артюхова Т. В., Готлиб В. Я., Старостин В. И.** 1968. Сб. «Экспериментальное исследование гипокинезии, измененной газовой среды, ускорений, перегрузок и других факторов». М., стр. 29.

**Потапов И. И., Барнацкий В. Н., Волков Ю. Н., Кузнецов А. Г., Асламазова В. И.** 1973. Вестник оториноларингологии, № 2, 18.

Потребность человека в витаминах. 1966. Сб. под ред. Смирнова М. И. М., «Медицина».

**Предтеченский В. Е.** 1960. Руководство по клиническим лабораторным исследованиям. М., Медгиз.

**Предтеченский В. Е., Боровская В. М., Марголина Л. Т.** 1950. Лабораторные методы исследований. М., Медгиз.

**Прибреам К.** 1975. Языки мозга. М., «Прогресс».

Проблемы радиационной безопасности космических полетов. 1964. Сб. под. ред. Нефедова Ю. Г. М., Атомиздат.

**Пурахин Ю. Н., Какурин Л. И., Георгиевский В. С., Петухов Б. Н., Михайлов В. М.** 1972. Космическая биология и медицина, 6, № 6, 47.

**Рааб В.** 1959. В кн. «Достижения кардиологии». М., «Медицина», стр. 67.

**Рааб В.** 1963. Сб. «Физиология и патология сердца», посвященный 60-летию В. В. Парина. М., стр. 89.

**Радбиль О. С., Вайнштейн С. Г.** 1966. Кора надпочечников и язвенная болезнь. Казань.

Радиационная опасность при космических полетах. 1964. Сб. под ред. Нестерова В. Е. М., «Мир».

**Разенков И. П.** 1946. Качество питания и функции организма. М.

**Разумеев А. Н., Шипов А. А.** 1969. Сб. «Проблемы космической биологии», 10. М., «Наука», стр. 22.

**Реутова М. Б.** 1969. Материалы 3-й научн. конф. молодых специалистов Ин-та медико-биологических проблем МЗ СССР, стр. 60.

**Рогозкин В. Д.** 1967. Сб. «Биологическое воздействие протонов высоких энергий». М., Атомиздат, стр. 401.

**Рогозкин В. Д., Давыдова С. А., Водякова Л. И., Тихомирова М. В., Туточкина Л. Т.** 1967.



«Биологическое действие протонов высоких энергий». М., Атомиздат, стр. 417.

**Рогозкин В. Д., Давыдова С. А., Тихомирова М. В., Черткова К. С.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 5, 13.

**Романовский Д. Л.** 1891. К вопросу о паразитологии и терапии болотной лихорадки. Дисс. СПб.

Руководство по изучению питания и здоровья населения. 1964. Сб. под. ред. Покровского А. А. М., «Медицина».

**Рыбаков Н. И., Козлов Н. А.** 1966. Бюлл. эксперим. биол. и медицины, № 5, 64.

**Рыжиков К. Н.** 1972. Сб. «Методика и аппаратура для диагностики начальных форм заболеваний и предболезней нервной и сердечно-сосудистой системы человека». М., стр. 13.

**Сабразе.** 1948. Цит. по Альтгаузену А. Я. 1948. Лабораторные клинические исследования. М., Медгиз, стр. 183.

**Савицкий Н. Н.** 1956. Некоторые методы исследования и функциональной оценки системы кровообращения. М., «Медгиз».

**Савун О. И., Сенчуро И. Н., Шаврин П. И.** 1973. Космические исследования, 11, вып. 1, 119.

**Савун О. И., Тверская Л. В., Тельцов М. В., Шаврин П. И.** 1967. Геомагнетизм и аэрономия, 7, № 5, 789.

**Саксонов П. П., Антипов В. В., Давыдов Б. И.** 1968. «Проблемы космической биологии», 9. М., «Наука».

**Саксонов П. П., Антипов В. В., Давыдов Б. И., Добров Н. Н.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 5, 17.

**Саркисов И. Ю.** 1971. Космическая биология и медицина, 5, № 1, 72.

**Свядощ А. М., Ромен А. С.** 1967. Материалы симп. «Биологические ритмы и вопросы разработки режимов труда и отдыха» (20—21 июня 1967 г.). М., стр. 60.

**Селье Г.** 1960. Очерки об адаптационном синдроме. М., Медгиз.

**Сергеев В. Д.** 1965. Гигиена и санитария, № 10, 105.

**Серегин М. С., Попов И. Г., Лебедева З. Н., Горячева О. А., Камфорина В. А., Облапенко П. В., Вохмянин П. Ф., Андреев Л. А.** 1969. Сб. «Проблемы космической биологии», 13, М., «Наука», стр. 78.

**Сиротинин Н. Н.** 1931. Отчет экспедиции по изучению действия пониженного давления на животный организм. Казань.

**Сиротинин Н. Н.** 1965. Сб. «Акклиматизация и тренировка спортсменов в горной местности». Алма-Ата.

**Сифр М.** 1966. Один в глубинах земли (пер. с франц.). М., «Мир».

**Скотт Д.** 1959. Ледниковый щит и люди на нем (пер. с англ.). М., Гос. изд-во географ. лит-ры.

**Смирнов А. И.** 1967. Роль тонуса центров блуждающих нервов в экономной форме сердечной деятельности. М., «Медицина».

**Смирнов К. В.** 1972. Сб. «Успехи физиологической науки», 3. вып. 2, 3.

**Снедекор Дж.** 1961. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии (пер. с англ.). М., ИЛ.

**Собакин М. А.** 1948. Бюлл. эксперим. биол. и медицины, 23, № 1, 7.

**Сологуб А. М.** 1963. Военно-медицинский журнал, № 10, 65.

**Соломин Г. И.** 1969. Труды 3-й Всесоюзн. конф. «Авиационная и космическая медицина», т. 2, стр. 224.

**Сопиков Н. Ф., Горбань Г. М., Соломин Г. И.** 1969. Труды 3-й Всесоюзн. конф. «Авиационная и космическая медицина», т. 3, стр. 74.

**Степанова С. И.** 1975. Космическая биология и медицина, 9, № 4, 40.

**Сызранцев Ю. К.** 1967. Сб. «Проблемы космической биологии», 7. М., «Наука», стр. 342.

**Терентьев В. Г.** 1972. Военно-медицинский журнал, № 3, 53.

**Терруан Т.** 1969. Взаимодействие витаминов. М., «Мир».

**Титова Л. К.** 1968. Развитие рецепторных структур внутреннего уха позвоночных. Л., «Наука».

**Ткаченко Е. С.** 1966. Питательная и биологическая ценность консервированных продуктов методом сублимации. М., «Медицина».

**Тодоров Й.** 1963. Клинические лабораторные исследования в педиатрии. София.

**Топарская В. Н.** 1970. Физиология и патология углеводного, липидного и белкового обмена. М., «Медицина».

**Труфанов А. В.** 1950. Витамины и антивитамины. М., «Медицина».

**Туголуков В. Н.** 1965. Современные методы функциональной диагностики состояния слизистой оболочки желудка и их клиническое значение. Л., «Медицина».

**Уголев А. М., Иезуитова Н. И., Масевич В. Г., Надирова Т. Я., Тимофеева Н. М.** 1969. Исследование пищеварительного аппарата у человека. М., «Медицина».

**Удалов Ю. Ф.** 1964. Материалы XV научной сессии Ин-та питания АМН СССР, 1, стр. 59.

**Уильямс Р.** 1960. Биохимическая индивидуальность. М., ИЛ.

**Уолтер Г.** 1966. Живой мозг. М., «Мир».

**Усачев В. В., Шинкаревская И. П.** 1972. Космическая биология и авиакосмическая медицина, № 2, 17.

**Федоров Б. М.** 1968. Механизмы нарушения и восстановления сердечной деятельности. М., «Медицина».

**Федоров И. В.** 1971. Космическая биология и медицина, 5, № 4, 59.

**Федоров И. В., Шурова И. Ф.** 1973. Космическая биология и медицина, 7, № 2, 17.

**Фельдман С. Б.** 1965. Оценка сократительной функции миокарда по длительности фаз систолы. Л., «Медицина».

Физические и радиобиологические исследования на искусственных спутниках Земли. 1971. М., Атомиздат.

**Финогенов А. М., Ажаев А. Н., Калибердин Г. В.** 1975. Сб. «Основы космической биологии и медицины», 3. М., стр. 122.

**Фишер Р. А.** 1958. Статистические методы для исследователей (пер. с англ.). М., ИЛ.

**Хаджиев Д.** 1971. Электрофизиология. София, Изд-во «Медицина и физкультура».

**Хвостова В. В., Гостимский С. А., Можаева В. С., Невзгодина Л. В.** 1963. Космические исследования, 1, вып. 1, 186.

**Хилов К. Л.** 1933. Военно-медицинский журнал, № 2, 141.

**Хилов К. Л.** 1934. Вестник советской оториноларингологии, вып. 1, 1.

**Хилов К. Л.** 1964. Избранные вопросы теории и практики космической медицины с позиций лабиринтологии. Л.

**Хилов К. Л.** 1969. Функция органов равновесия и болезнь передвижения. Л., «Медицина».

**Холоденко М. И.** 1963. Расстройства венозного кровообращения головного мозга. М., «Медицина».

**Хрунов Е. В.** 1972. Вопросы психологии, 18, № 6, 80.

**Худсон Д.** 1970. Сб. «Статистика для физиков». М., «Мир», стр. 195.

**Циммерман Г. С.** 1952. Клиническая отоневрология, М., «Медицина».

**Циммерман Я. С.** 1972. Сб. «Диагностика, клиника и лечение заболеваний желудка». Пермь, стр. 191.

**Чазов В. И., Ананченко В. Г.** 1963. Сб. «Авиационная и космическая медицина». М., стр. 476.

**Чарахчьян А. Н., Чарахчьян Т. Н.** 1962. Геомагнетизм и аэрономия, 2, № 5, 829.

**Чекирда И. Ф., Богдашевский Р. Б., Еремин А. В., Колосов И. А.** 1971. Космическая биология и медицина, 5, № 6, 48.

**Чекирда И. Ф., Колосов И. А.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 4, 83.

**Челнокова И. С., Микоша А. С.** 1971. Вопросы мед. химии, 17, № 1, 88.

**Черепахин М. А.** 1968. Космическая биология и медицина, 2, № 3, 43.

**Черепахин М. А., Первушин В. И.** 1970. Космическая биология и медицина, 4, № 6, 46.

**Черкес А. И., Мельников В. Ф.** 1972. Пособие по фармакотерапии. Киев, «Здоровье», стр. 373.

**Черкинский С. Н., Трахтман Н. Н.** 1962. Обеззараживание питьевой воды. М., Медгиз.

**Чехонадский Н. А., Какурин Л. И., Катковский Б. С.** 1968. Сб. «Физиологические проблемы детренированности». М., стр. 129.

**Чижов С. В., Синяк Ю. Е.** 1973. Водообеспечение экипажей космических кораблей. М., «Наука».

**Чижов С. В., Колоскова Ю. С., Ситникова Н. Н.** 1973. Сб. «Водоподготовка и очистка промышленных стоков», вып. 10. Киев, стр. 22.

**Шарпенак А. Э.** 1959. Вопросы питания, № 1, 73.

**Шатерников В. А.** 1966. Вопросы мед. химии, 1, № 12, 103.

**Шевкун О. Н., Семененко Э. И., Костерина Е. И., Газиев Г. А.** 1971. Космическая биология и авиакосмическая медицина, № 4, 61.

**Шенард Р., Элин С., Бинейд Ф., Дуйвис С., Прашнеро П., Худмэн Р., Мурримэн Дж., Майр К., Симмонс З.** 1968: Бюлл. Всемир. организации здравоохр., № 5, 760.

**Шестопалова Н. Г., Дедух Н. В., Сидоня Я. И.** 1971. Сб. «Устойчивость к экстремальным температурам и температурные адаптации». Харьков, стр. 47.

**Шеффе Г.** Дисперсионный анализ (пер. с англ.). М., ИЛ.

**Шлыгин Г. К., Фомина Л. С.** 1970. Биохимия, 15, 509.

**Шульженко Е. Б., Григорьев А. И., Журенко В. Н.** 1974. Материалы IV Всесоюзн. конф. по водно-солевому обмену и функции почек. Черновцы, стр. 165.

**Эльберт Б. Я.** 1964. Руководство по микробиологической диагностике инфекционных болезней. М., «Медицина», стр. 469.

**Энгель Р. В.** 1964. Материалы конф. по проблемам питания и утилизации в космосе, Флорида, стр. 109.

**Эшби У. Р.** 1962. Конструкция мозга. М., ИЛ.

**Юганов Е. М.** 1963. Сб. «Авиационная и космическая медицина». М., стр. 496.

**Юганов Е. М., Брянов И. И.** 1963. Сб. «Авиационная и космическая медицина». М., стр. 504.

**Юганов Е. М., Касьян И. И., Асямолов Б. Ф.** 1968. Сб. «Медико-биологические исследования в невесомости». М., «Медицина», стр. 347.

**Юганов Е. М., Касьян И. И., Брянов И. И., Горшков А. И.** 1965. Известия АН СССР, серия биол., № 6, 877.

**Юганов Е. М., Касьян И. И., Гуровский Н. Н., Якушов Б. А., Коновалов А. И., Яздовский В. И.** 1961. Известия АН СССР, серия биол., № 6, 897.

**Юганов Е. М., Копанев В. И.** 1973. Военно-медицинский журнал, № 1, 74.

**Яблочкин В. Д.** 1975. Космическая биология и авиакосмическая медицина, 9, № 4, 27.

**Яздовский В. И., Денисов В. Г.** 1963. Вестник АН СССР, № 9, 7.

**Яздовский В. И., Какурин Л. И.** 1963. Сб. «Авиационная и космическая медицина». М., стр. 507.

**Яковлев Н. Н.** 1967. Вопросы питания, № 5, 67



**Яковлева И. Я., Баранова В. П., Корнилова Л. Н., Чирков А. А.** 1974. Материалы VII симп. по космической биологии и медицине, Бухарест, стр. 45.

**Яковлева И. Я., Баранова В. П., Тизул А. Я., Мацнев Э. И.** 1974. Вестник оториноларингологии, № 1, 25.

**Янч Э.** 1970. Прогнозирование научно-технического прогресса. М., «Мир».

**Яроцкий А. И.** 1954. Труды Краснознаменного военного ин-та физкультуры и спорта им. В. И. Ленина, вып. 8, 3.

**Ярошевский А. Я., Кудряшев Б. Ф.** 1968. Сб. «Физиология системы крови». М., «Наука», стр. 3.

**Яруллин Х. Х.** 1967. Клиническая реоэнцефалография (новый метод исследования кровообращения головного мозга). М., «Медицина».

**Яруллин Х. Х., Крупина Т. Н., Васильева Т. Д. Буйлолова Н. Н.** 1972. Космическая биология и медицина, 6, № 4, 33.

**Яруллин Х. Х., Левченко М. И.** 1969. Сб. «Параклинические методы исследования в неврологической клинике», вып. 2. М., стр. 93.

**Ярустовская Л. Э.** 1969. Проблемы гематологии и переливания крови. 14, № 2, 29.

**Ab Lars Ljungberg.** 1964. Instruction Manual Celloscope 302 Automatic particle counter. Stockholm — Sweden.

**Adams C. C.** 1963. Medical and Biological Problems of Space Flight. New York — London, Acad. Press, 237.

**Adams C. R., Bulk G. K.** 1967. Aerospace Med., 38, N 5, 518.

**Albanese A. A.** 1963. Newer Methods of Nutritional Biochemistry with Applications, v. 1. New York, Acad. Press, 1.

**Aschoff J.** 1974. Circadian rhythms in space medicine.— В кн.: Человек в космосе. Труды IV Международн. симп. по основным проблемам в жизни человека в космическом пространстве. Ереван, 1—6 октября 1971 г., стр. 264.

**Asmussen E., Christensen E. H., Nilsen M.** 1939. Scand. arch. physiol., 81, N 4—5, 196.

**Astrand P. O., Cuddy T. E., Saltin B., Stenberg T.** 1964. J. Appl. Physiol., 19, 268.

**Aubry M., Pialoux P.** 1957. Maladies de l'oreille interne et otoneurologic. Paris.

**Baheroft H., Edholm O. H., McMichael J., Sharpy-Schafer E. P.** 1944. Lancet, № 246, 489.

**Berry C. A.** 1963. Manned Spacecraft Center, NASA SP-45, 199, Washington, D. C. U. S. Grovt, Printing Office.

**Berry C. A.** 1966. Review of Medical Results of Gemini 7 and Related Flights. NASA, Aug., p. 23.

**Berry C. A.** 1967. J. Amer. Med. Assoc., 201, 232.

**Berry C. A.** 1969 a. Science J., 5, N 5.

**Berry C. A.** 1969 b. Aerospace Med., 40, N 3, 245.

**Berry C. A.** 1970. Aerospace Med., 41, N 5, 500.

**Berry C. A.** 1971 a. Medical Results of Apollo-14 implications for Longer Duration Space Flight. XXII Internat. Astronaut. Congr. Brussels, 25 Sept.

**Berry C.A.** 1971 b. 4th Internat. Sympos. on Basic Environmental Problems of Man in Space. Yerevan, 2 Oct.

**Berry C. A.** 1973. Aerospace Med., 44, N 3.

**Berry C. A.** 1973. Bioastronautics Data Books. NASA SP-3006, Washington, D. C., chap. 8, 349.

**Berry C. A.** 1974. Aerospace Med., 45, N 9, 1046.

**Berry C. A., Catterson A. D.** 1967. The Final Gemini Summary Conference Publication. NASA, Oct., 51.

**Bertrani G.** 1951. J. of bacteriology, 62, N 3, 293—300.

**Birkhead N. C.** 1963. Cardiodynamic and Metabolic Effects of Prolonged Bed Rest. Techn. Rept. N 63—37. U. S. Air Force.

**Blomquist C. G., Mitchell J. H., Saltin B.** 1969. Proc. Symposium on Hypogravic and Hypodynamic Environments. Indiana Univ., 197.

**Blumberger K.** 1940. Arch. Kreislaufforsch., 6, N 4, 203.

**Borstel R. S., Smith R. H., Whiting A. R., Grosch D. S.** 1971. Mutational and physiologic responses of Habrobracon in Biosatellite 11. The experiments of Biosatellite 11. Ed. Sounders J. F., Washington, D. C., p. 17—39.

**Braunsteiner H., Thumb N.** 1958. Acta haematol., 20, 339.

**Brecher G.** 1956. Venous Return. New York — London.

**Brockett R. M., Ferguson J. K.** 1975. Aviat. Space Environm. Med., 46, N 1, 30.

**Brockmann M. C., Henick A. S., Kurtz G. W., Tisher R. G.** 1958. Feeding Men during Space Flights. Chicago, p. 22.

**Brogdon E., Hellebrandt F. A.** 1943. Amer. J. Physiol., 138, N 2, 364.

**Bunder G. C.** 1965. Annual Techn. Meeting Proc.

**Calloway D. H.** 1964. J. Amer. Diet. Assoc., 44, N 5, 347.

**Capbel A. M.** 1962. Advanc. in Genetics, 11, 101—145.

**Carlson L. D.** 1967. Astronaut. and Aeronaut., N 5, 40.

**Celentano J. T., Alexander H. S., Bear R. A., Balkin D. P., Johnson S. P., Reinolds J. B.** 1963. Proc. Second AAS Sympos. Phys. and Biol. Phenomena under Zero Gravity Conditions, 350.

**Chlelus M.** 1962. Amer. Heart. J., 64, 22.

**Clamann H. G.** 1961. Human Factors Jet and Space travel. New York, Ronald Press Co., 330.

**Clark R. T., Clamman N. C., Balke B., Tang P. C., Fulton I. D., Graybiel A., Vogel I.** 1960. Aerospace Med., 31, N 7, 553.

**Cort I. H., Fenel V.** 1958. Physiologie der Körperflüssigkeiten. Jena.

**Curtis H. J.** 1961. Science, **133**, 3449, 312.

**Cuthbertson D. P.** 1929. Biochem. J., **23**, N 6, 1328.

**David T.** 1965. Missiles and Rockets, **16**, N 24, 40.

**Davies D. G.** 1971. J. Iron and Steel Inst., **209**, N 2, 114.

**Decher H.** 1963. Dtsch. med. Wochenschr., **88**, 2340.

**Defares Y. G.** 1958. J. Appl. Physiol., **13**, N 2, 159.

**Deitrick J. E., Whedon G. D., Shorr E.** 1948. Amer. J. Med., **4**, N 1, 3.

**Dietlein L. F.** 1964. Electron. News, **9**, N 440, 4; N 442, 4; N 443, 4.

**Dietlein L. F.** 1969a. Proc. Sympos. on Hypogravic and Hypodynamic Environment, June 16—18, French Lick, Indiana, 18.

**Dietlein L. F.** 1969b. Proc. Sympos. on Hypogravic and Hypodynamic Environments, June 16—18, French Lick, Indiana. Session 1: Weightlessness. Indiana Univ., A-3652, 10.

**Dietlein L. F.** 1974. Proc. Skylab Life Sciences Sympos., August 27—29, 2, 369.

**Dietlein L. F., Harris E.** 1966. Gemini Midprogram Conference. Houston, Texas, 23—25 February, NASA SP-121.

**Donzelot E., Milovanovich J., Meyer-Heine A.** 1950. Arch. malad. coeur et vaisseaux, **11**, 1013—1016.

**Duke W. W.** 1910. J. Amer. Med. Assoc., **55**, 1185.

**Dunger R.** 1942. München. med. Wochenschr., **57**.

**Duthie G. G., Stewart Sh. M.** 1967. Lancet, **3**, N 7482, 142.

**Eberhard J. W.** 1966. Sleep Requirements and Work-resk Cycles for Long Term Space Missions. Preprint for human factors Society National Convention.

**Eberhard J.** 1969. Verification of off-duty Time and Activities in Long Duration Space Flights. Prepared for: NASA, Washington, D. C., Contract NASA 1755.

**Echols H., Pilarski L., Chang P.** 1968. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, **59**, p. 1016—1023.

**Epstein M., Saruta T.** 1971. J. Appl. Physiol., **31**, 368.

**Erlanger B. F., Kokovsky N., Cohen W.** 1961. Arch. Biochem. and Biophys., **95**, 271.

**Farrel G., Taylor A. N.** 1967. Annual. Rev. Physiol., **24**, 471.

**Fitzsimons J. T.** 1972. Physiol. Rev., **52**, N 2, 468.

**Finkelstein T. B.** 1962. J. Amer. Diet. Assoc., **40**, N 6, 498.

**Finkelstein T. B., Taylor A. A.** 1960. Amer. J. Clin. Nutr., **8**, 6.

**Finnerty F. A.** 1962. Circulation, **25**, N 1, pt. 2, 255.

**Fischer C. L., Gill C.** 1972. Aerospace Med., **43**, N 8, 850.

**Fischer C. L., Johnson Ph. C., Berry C. A.** 1967. J. Amer. Med. Assoc., **200**, 579.

**Fonio A.** 1912. Dtsch. Z. Chir., **117**, 176.

**Foss O. P.** 1960. Nord. Med., **64**, 1350.

**Fucuda T.** 1959. Acta otolaryngol., **50**.

**Gauer O. H.** 1966. Acta neuroveget., **28**, N 1—4, 370.

**Gauer O. H.** 1971. Fourth Internat. Sympos. on Basic Environmental Problem of Man in Space. Yerevan.

**Gauer O. H.** 1973. V Internat. Symposium on Man in Space. Washington, 27, Nov.

**Gauer O. H., Henry J. P.** 1963. Physiol. Rev., **43**, 423.

**Gee R. F., Kronenberg R. S., Chapin R. E.** 1968. Aerospace Med., **39**, N 9, 984.

**Gibson E. G.** 1974. The Proc. Skylab. Life Sciences Sympos., **1**, 47.

**Giemsa G.** 1934. Med. Welt, **31**, 29.

**Gill J. R., Foster W. B.** 1967. Gemini Summary Conference. Office Technol. Utilization. NASA, 298—299.

**Giron D. G., Lotter L. P.** 1967. Aerospace Med., **38**, N 8, 832.

**Gobbato F., Meda A.** 1956. Cardiologia, N 2, 114.

**Gowenloock A. H., Mills J. N., Thomas S.** 1959. J. Physiol., **146**, N 1, 133.

**Graf K.** 1964. Acta physiol. scand., **60**, 70.

**Graveline D. E., Jackson M. M.** 1962. J. Appl. Physiol., **17**, 519.

**Gray S. J.** 1961. Amer. J. Digest. Discases, **16**, 355.

**Graybiel A.** 1967. Aerospace Med., **38**, 4.

**Graybiel A., Clark B.** 1968. Aerospace Med., **39**, 950.

**Graybiel A., Clark B., Zarriello Y.** 1960. Arch. neurol., **3**, 55.

**Graybiel A., Kellogg R. S.** 1967. Aerospace Med., **38**, 11.

**Graybiel A., Kennedy R. S., Kellogg R. S.** 1969. Aerospace Med., **40**, 8.

**Graybiel A., Miller E., Billingham J., Waite R., Berry C., Dietlein L.** 1967. Aerospace Med., **38**, 360.

**Greenfield A. D.** 1963. Brit. Med. Bull., **19**, 101.

**Greenleaf J. E., Matter M., Basco J. S., Donylas S., Averkin E. G.** 1966. Aerospace Med., **37**, N 1, 34.

**Gualtierotti T.** 1969. Proc. 8th Internat. Sympos. Space Technol. and Sci. Tokyo, 1193.

**Halberg F., Vallbona G., Dietlein L. F., Rummel J. A., Berry C. A., Pitts G. C., Nunneley S. A.** 1970. Space Life Sci., **2**, N 1, 18.

**Ham T. H.** 1939. Arch. Internal. Med., **64**, 1271.

**Hamdy M. K., Cahill V. K., Deatherage F. E.** 1959. Food Res., **24**, N 1, 79.

**Hansen C. E., Berger C. H.** 1965. Paper Amer. Soc. Med. Engrs, N Av-16, 11.

**Hanson S. W. F.** 1958. Feeding Men During Space Flights. Chicago, p. 3.

**Hattner R. S., McMillan D. E.** 1968. Aerospace Med., **39**, N 8, 849.





**Hegglin R.** 1947. Die Klinik der energetisch-dynamischen Herzinsuffizienz, Basel — New York.

**Heilmeyer L. D.** 1938. Z. inn. Med., **55**, 320.

**Heilskov N. C. S., Schonheyder F.** 1955. Acta med. scand., **151**, 51.

**Henry T. P., Augerson W. S., Belleville R. E., Douglas W. K., Grunzke M. K., Johnston R. S., Loughlin R. C., Mosely T. D., Rohles F. H., Voas R. D., White S. C.** 1962. Aerospace Med., **33**, N 9, 1056.

**Hill L.** 1895. J. Physiol., **18**, 15.

**Hill L.** 1896. Amer. J. Physiol., **18**, 15.

**Hill L., Barnard H.** 1897. J. Physiol., **21**, 323—352.

**Hirschowitz B. L.** 1957. Physiol. Rev., **37**, 457.

**Hirschowitz B. L.** 1967. Ann. N. Y. Acad. Sci., **140**, 709.

**Holldack K.** 1951. Dtsch. Arch. klin. Med., **198**, N 1, 71.

**Hordinsky J. R.** 1974. Proc. Skylab Life Sciences Sympos., **1**, 61.

**Hordinsky J. R., Ross C. E.** 1973. Skylab 1/2 Preliminary Biomed. Rept, NASA, Houston. Dec. 31—65.

**Hunt N. C.** 1967. Aerospace Med., **38**, N 2, 176.

**Hursh L. M.** 1960. Millitary Med., **125**, N 8, 567.

**Hürthle K.** 1891. Arch. ges. Physiol., **49**, N 1—2, 29.

**Jenkins D. W.** 1968. Bioscience, 18, N 6, 543—549.

**Johnson B. J.** 1958. Cardiologia, **32**, N 3, 155.

**Johnson P. C.** 1973. Skylab 1/2 Preliminary Biomed. Rept. NASA, Houston, ISC-08439, 246.

**Johnson P. C., Fischer C. L.** 1970. Hematologic Implications of Hypodynamic States. Proc. Sympos. on Hypogravic and Hypodynamic Environments. June 16—18, French Lick, Indiana, Indiana Univ., 1970, A-3652, 37.

**Johnson R. L.** 1971. Fourth Internat. Sympos. on Basic Environmental Problems of Man in Space, 1—5 Okt. Yerevan.

**Johnson R. L., Hoeffler G. W.** 1973. Skylab 1/2 Preliminary Biomed. Rept, NASA, Houston, ISC-08439, 210.

**Johnson W. W.** 1972. Astronaut. acta, **17**, N 1, 2, 223.

**Johnson W. W.** 1973. 5th Internat. Sympos. Man in Space. Washington, 27 Nov.

**Jones R. K., Adams D. E., Russel I. J.** 1965. Second Sympos. on Protection Against Radiation in Space. 1964, Gatlinburg, Tennessee, October 12—14, NASA, SP-71, p. 85.

**Joung R. S., Tremor J. W.** 1968. Bioscience, 18, N 6, 609.

**Jouvet M.** 1968. Sympos. Bel-Air, Geneve, Septembre 1967. Cycles biologiques et psychiatrie. Genève — Paris, 185.

**Kaiser D., Gauer O. H.** 1966. Pflügers Arch. ges. Physiol., **389**, N 2, 76.

**Kaiser D., Eckert P., Gauer O. H., Linkenbach H. J.** 1969. Pflügers Arch. ges. Physiol., **306**, N 3, 247.

**Kaplan H. P.** 1967. Aerospace Med., **38**, N 7, 676.

**Keller E. F., Segel L. A.** 1971. J. theoret. biol., **30**, N 2, 235—248.

**Kelsall M. A.** 1958. Univ. Colorado Studies. Ser. Biol., N 4, 62.

**Kervin G. G.** 1974. Proc. Skylab Life Sciences Sympos., 1, 55.

**Kirchoff H.** 1964. Gesundheitswes. und Desinfekt., **56**, N 11, 153.

**Kondo S.** 1965. Internat. Sympos. on Genetic Effects of Space Environments. Concurrent Meeting 12th Internat. Congr. Genetics. Abstracts, Tokyo.

**Kondo S.** 1968. Japanese J. of Genetics, **43**, N 6, p. 467—468.

**Krug H., Schlicher L.** 1960. Die Dynamik des venösen Rückstromes. Leipzig.

**Lachance P. A.** 1961. Nutrition and the Stresses of Space habitation. Paper presented at London Research Conference.

**Lachance P. A., Vanderveen J. E.** 1963. Food technol., **17**, N 5, 59.

**Ladell W. S. S.** 1955. J. Physiol., **127**, N 1, 11.

**Lamb L. E.** 1964. Aerospace Med., **35**, N 5, 413.

**Lars A. B., Ljungberg L.** 1964. Instruction Manual Celloscope 302. Automatic particle counter. Stockholm-Sweden.

**Leach C. S., Alexander W. C., Johnson P. C.** 1972. Endocrine Homeostasis and Fluid/Electrolyte Balance. Apollo 16 Preliminary Medical Findings. NASA, Washington, D. C.

**Leach C. H., Rambaut P. C., Johnson P. C.** 1973a. USSR Working group in Space Biology and Medicine, Moscow, Feb.- March.

**Leach C. S., Rambaut P. C., Johnson P. S.** 1973b. Endocrine Homeostasis and Fluid/Electrolyte Balance. Apollo 17 Preliminary Medical Findings. NASA, Washington, D. C.

**Lederberg J.** 1950. Methods in med. research, **3**, p. 50—52.

**Link M.** 1965. Space Medicine in Project Mercury. NASA Sp-4003, Washington.

**Lomonaco T.** 1969. Minerva Med., **60**, N 100, 5104—5110.

**Luft R., Euler H. S.** 1963. J. Clin. Invest., **32**, N 11, 1065—1069.

**Lushbaugh C. C., Comas F., Hofstra R.** 1967. Radiat. Res., Suppl. 7, 398—412.

**Lutwak L., Whedon C. D., Lachance P. A., Reid J. M., Lipsomb H. S.** 1969. J. Clin. Endocrinol. and Metabol., 28, N 9, 1140—1156.

**Mack P. B., La Chance P. A., Vose G. P., Vogt F. B.** 1967. Amer. J. Roentgenol., Radium Therapy and Nucl. Med., **100**, N 3, 503—511.

**Malm O. J.** 1958. Scand. J. Clin. and Lab. Invest. **10**, Suppl. 36, 1.

Mannual for nutrition Surveys. 1957. Washington, U. S. Govt Printing Office.

**Margaria P.** 1964. Space aeronaut., **41**, N 6, 76—83.
**Marriott H. L.** 1950. Water and Salt Depletion. Oxford, Blackwell.
**Mattoni R. H. T.** 1968. Bioscience, **18**, N 6, 602—608.
**McLester J. S.** 1949. Nutrition and diet in health and disease. 5ed. Philadelphia — London, Saunders, p. 243, 716.
**McQueen G. L., Ferguson J. K.** 1970. Microbiology, NASA, Manned Spacecraft Center, Houston, Texas, Decembre.
**McQueen G. L., Ferguson J. K.** 1971. Biomedical evaluation of the Apollo-10 Mission. NASA, Manned Spacecraft Center, Houston, Texas, Jule.
**Mellerowicz H.** 1956. Med. Arch. Kreislaufforsch.; **24**, N 4—5, 70—176.
**Meyer-Heine A., Giblin S., Desertenne G.** 1949. Arch. malad. coeur et vaisseaux, **42**, 337—351.
**Michell E. L.**, 1974. Proc. Skylab Life Sciences Sympos. August 27—29, v. II.
**Miller E., Graybiel A.** 1963. Aerospace Med., **34**, N 10.
**Miller E. V., Mickelsen O., Benton W. W., Keys A.** 1945. Federat. Proc., **4**, N 1, 99.
**Mills J. N., Thomas S., Williamson K. S.** 1962. J. Endocrinol., **23**, N 4, 365.
**Moore J. T., James H.** 1953. Proc. Soc. Exper. Biol. Med., **82**, 60.
**Munro H. N., Allison J. B.** 1964. Mammalian Protein Metabolism, v. 1—2, New York — London, Acad. Press.
**Munro H. N., Allison J. B.** 1969. Mammalian Protein Metabolism, v. 3. New York — London, Acad. Press.
NASA Results of the First US Manned Orbital Space Flight February 20 1962. NASA, 1962, p. 1—204.
NASA Results of the Second US Manned Orbital Space Flight. May 24 1962. NASA, 1962, p. 14.
**Natochin Y. V., Kozyrevskaja G. I., Grigoryev A. I.** 1973. V Internat. Sympos. on Man in Space. Washington, 1973, 8. Nature, 1967, May 13, **214**, N 5089, 648—549.
**Nordenfelt O.** 1939. Z. Kreislaufforsch., 21, 761—771. Nutr. Rev., 1960, **18**, N 4, 100.
**O'Hara M. J., Chapin R. E., Heidelbauch N. D., Vanderveen J. E.** 1967. J. Amer. Diet. Assoc., **51**, N 3, 246.
**Olcott C. T.** 1947. Amer. J. Pathol., **23**, 783—785.
**Orane M. J., Harris J. J.** 1973. J. Clin. Endocrinol. and Metabol., **37**, N 5, 790—796.
**Ordway F., Gardner I. P., Scharpe M. R.** Basic Astronautics. New York, Englewood Cliffs, 1962, p. 587.
**Oster I. I.** 1971. Genetic implications in space flight. The experiments of Biosatellite 11. Ed. by Saunders J. F., NASA. Washington, D. C., p. 41—54.
**Peters J. P.** 1947. Diseases of Metabolism. Duncyn G. G. (Ed.), Philadelphia and London, Saunders & Co., p. 270.
**Pett L. B.** 1945. Canad. J. Publ. Health, 36, Feb, 69.
**Pollard E. C.** 1965. J. Theoret. Biol., 8, N| 1, 113.
**Ptashne M.** 1967. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, **57**, p. 306—313.
**Putzke H. P., Gensicke F. W.** 1966. Z. ges. inn. Med., 3—21 5 p., 146.
**Quellet G., Poh S. C., Becklake M. R.** 1969. J. Appl. Physiol., **27**, 874.
**Qulie C.** 1959. Nord. Med., **62**, 1421.
**Raab W., Paulo De., Paulo E. Silva, Starcheska Y. K.** 1958. Cardiologia, **33**, N 5, 350.
**Rademaker J. G. J.** 1931. Das Stehen. Springer, Berlin. Radiobiological Factors in Manned Space Flight. 1967. Langham W. H. (Ed.). Washington, US Nat. Acad. Sci., NASA.
**Reason J.** 1969. New Scientists, **14**, 2.
Recommended Dietary Allowances. 1964. Nat. Acad. Sci.National Research Council, Washington.
**Robinson A.** 1960. J. Amer. Assoc., **174**, 159.
**Ross C. E., Hordinsky J. R.** 1973. Skylab 1/2 R + 21 day. Inter. Report. ISC 08706, 26.
**Salisbury F. S.** 1969. Bioscience, **19**, N 5, 407.
**Saltin B.** 1964. J. Appl. Physiol., **19**, N 6, 1114.
**Schaefer H. J.** 1968. Aerospace Med., **39**, N 3, 271.
**Schellong F., Heinemeier M.** 1933. Z. ges. exper. Med., **89**, N 1—2, 49.
**Schellong F., Lüderitz B.** 1954. Regulationsprüfung des Kreislaufs. Darmstadt.
**Schiling V.** 1922—1959. Praktische Blutlehre. 1—16 Aufl. Jena, Fischer.
**Schiling V.** 1912. Folia Haematol., **13**, 197.
**Schmidt G. R.** 1967. Appl. Microbiol., **15**, N 4, 757.
**Schone H.** 1964. Aerospace Med., **35**, 8.
**Schonheyder F., Helskov, Olesen K.** 1954. Scand. J. Clin. and Lab. Invest., **6**, N 3, 178.
**Selye H.** 1936. Nature, **138**, 3479, 32.
**Selye H.** 1950. The physiology and pathology of exposure to stress. Montreal, Acta.
**Serres F. J. de, Smith D. B.** 1970. Radiat. Res., **42**, N 3, 471.
**Simons D. G.** 1958. Feeding Men During Space Flights. Chicago, 9.
**Sjöstrand T.** 1953. Physiol. Rev., **33**, N 2, 202.
**Smith M.** 1970. Aerospace Food Technology. Conf. Univ. South Florida, April 15—17 1969. Washington, p. 15, NASA-SP-202.
Space World. 170, N 7, 40—41.
**Steele J. E.** 1963. Sympos. on Motion Sickness with Special Reference to Weightlessness. Ohio, June, 43.
**Stevens P. M., Lunch T. N.** 1965. Aerospace Med., **36**, 1151.
**Stunkardt G. A.** 1970. Aerospace Med., **41**, N 8, 873.
**Taliaferro E., Wempen R., White W.** 1965. Aerospace Med., **36**, N 10, 922.



**Taylor A. A.** 1958. Feeding Men during Space Flights. Chicago, **28**, 15.
**Taylor H. L., Buskirk E., Henschel A.** 1955. J. Appl. Physiol., **8**, 73.
The Role of Dietary Fat in Human Health. 1958. National Research Council. Washington.
**Thurau K., Valtin N., Schnermann J.** 1968. Annual Rev. Physiol., **30**, 441.
**Tisher R. G.** 1960a. Astronautics, **5**, 7, 32, 40.
**Tisher R. G.** 1960b. Physics and Medicine of the Atmosphere and Space. New York — London, Wiley.
**Tobias C. A., Budinger T. E., Lyman J. T.** 1971. Nature, **230**, 596.
**Tukey G. W.** 1949. Biometrics, **5**, N 3, 232.
**Vanderveen J. C., Roadman C. H., Strughold H., Mitchell K. B.** 1968. Proc. Fourth Internat. Sympos. on Bioastronautics and the Exploration of Space, 421.
**Vinograd S. P.** 1964. Astronaut. and Aeronaut., **2**, 11, 70—73.
**Vinograd S. P.** 1967. Proc. Inst. Environmental Sciences, 13-th Annual Techn. Meeting, 2, Washington, D. C.
**Vogt F., Johnson P.** 1965. Aerospace Med., **36**, N 5, 447—451.
**Wallman-Barnett St.** 1963. Medical and Biological Problems of Space Flight. New York — London, Acad. Press, p. 225—235.
**Ward I. E., Hawkins W. R., Stallings H.** 1959. J. Aviat. Med., **30**, N 3, 151.
**Webb W. B., Agnew H. W.** 1965. Science, **150**, 3704, 1745.
**Welch B. E., Morgan Th. E., Ulvedal F.** 1961. Aerospace Med., **32**, N 7, 583.
**White S.** 1971. Biomedical Acceptability of 45- to 60-day Space Flight. USAF School of Aerospace Medicine, Aerospace Medical Divison (AFSC), Brooks Air Force Base, Texas, December.
**Wick E.** 1962. Wien. med. Wochenschr., **112**, N 9, 192.
**Wiggers C.** 1921. Amer. J. Physiol., **56**, N 3, 415.
**Williams R. J.** 1956. Biochemical Individuality, the Basis for the Genetotrophic Concept. New York, Wiley J. and Sons, London, Chapman a. Hall.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ НА КОРАБЛЯХ «СОЮЗ»

**Биомедицинские исследования**

Утверждено к печати
Отделением физиологии Академии наук СССР

---

Редакторы издательства
**Н. А. Потехина,**
**Г. В. Красильникова**

Художник
**Б. П. Кузнецов**

Художественный редактор
**Т. П. Поленова**

Технический редактор
**И. Н. Жмуркина**

Корректоры **М. И. Гинзбург,**
**Ф. Г. Сурова**

Сдано в набор 25/V 1976 г.
Подписано к печати
30/VIII 1976 г.
Формат 70×100 1/16.
Усл. печ. л. 33,54.
Уч.-изд. л. 33,3.
Тираж 1600 экз.
Т-16518.
Тип. зак. 716.
Бумага № 1.
Цена 2 р. 74 к.

Издательство «Наука»
103717 ГСП, Москва, К-62,
Подсосенский пер., 21

2-я типография
издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99,
Шубинский пер., 10